



Incentivos fiscales ambientales a la electromovilidad

Alcance y evaluación en México

Martha Elba Palos Sosa
Gloria María Plascencia de la Torre
Eduardo Méndez Aguilar

Colección
**Derecho Tributario
y Fiscal**



UNIVERSIDAD DE
GUADALAJARA
Red Universitaria e Institución Benemérita de Jalisco



**tirant
lo blanch**

ACCESO GRATIS a la Lectura en la Nube

Para visualizar el libro electrónico en la nube de lectura envíe junto a su nombre y apellidos una fotografía del código de barras situado en la contraportada del libro y otra del ticket de compra a la dirección:

ebooktirant@tirant.com

En un máximo de 72 horas laborables le enviaremos el código de acceso con sus instrucciones.

La visualización del libro en **NUBE DE LECTURA** excluye los usos bibliotecarios y públicos que puedan poner el archivo electrónico a disposición de una comunidad de lectores. Se permite tan solo un uso individual y privado



UNIVERSIDAD DE
GUADALAJARA
Red Universitaria e Institución Benemérita de Jalisco



La emisión de gases efecto invernadero, ha incrementado los niveles de contaminación atmosférica en las grandes metrópolis, se estima que los medios de transporte con motor de combustión interna son los principales causantes de ello, por esta razón, los países establecen políticas de impuestos y/o incentivos fiscales, como instrumentos de control ambiental.

Los estímulos fiscales como uno de los instrumentos económicos de control ambiental, han demostrado ser una herramienta efectiva para promover cambio de hábitos en la producción y consumo de bienes y servicios, beneficios como: reducciones de impuestos; mayor deducción de las inversiones; libertad en la circulación, entre otras, presentes tanto en el ámbito federal, estatal y municipal, tienen la finalidad, de que personas y entidades económicas adopten prácticas más limpias y sostenibles como la automoción eléctrica, para reducir la emisión de gases efecto invernadero y mejorar la calidad del aire.

El Centro de Investigación en Estudios Fiscales (CIEF) de la División de Contaduría del Centro Universitario de Ciencias Económico Administrativas (CUCEA) de la Universidad de Guadalajara, tiene como objeto ser un espacio que impulse, fomente el análisis, debate y generación de conocimiento por expertos en las distintas áreas de los estudios fiscales.

En este sentido, el CIEF impulsa 10 líneas de Generación y Aplicación del conocimiento, dada su importancia y relevancia en el ámbito económico y social. Entre estas líneas de investigación se ubica "Impuestos ambientales e innovación tributaria". En este sentido, profesores investigadores del CIEF, desarrollaron esta obra que analiza las políticas de incentivos fiscales a la producción, adquisición y uso de autos eléctricos y automoción eléctrica general en México.

Confiamos en que esta obra científica del CIEF, cumpla con los propósitos y sea considerada para su análisis y reflexión por aquellos interesados en los temas ambientales, con la finalidad de generar propuestas y alternativas de solución a problemáticas sociales.

Mtro. Ramiro Torres Torres
Director del CIEF

**INCENTIVOS FISCALES AMBIENTALES
A LA ELECTROMOVILIDAD**

Alcance y evaluación en México

COMITÉ CIENTÍFICO DE LA EDITORIAL TIRANT LO BLANCH

- MARÍA JOSÉ AÑÓN ROIG**
Catedrática de Filosofía del Derecho de la Universidad de Valencia
- ANA CAÑIZARES LASO**
Catedrática de Derecho Civil de la Universidad de Málaga
- JORGE A. CERDIO HERRÁN**
Catedrático de Teoría y Filosofía de Derecho. Instituto Tecnológico Autónomo de México
- JOSÉ RAMÓN COSSÍO DÍAZ**
Ministro en retiro de la Suprema Corte de Justicia de la Nación y miembro de El Colegio Nacional
- MARÍA LUISA CUERDA ARNAU**
Catedrática de Derecho Penal de la Universidad Jaume I de Castellón
- MANUEL DÍAZ MARTÍNEZ**
Catedrático de Derecho Procesal de la UNED
- CARMEN DOMÍNGUEZ HIDALGO**
Catedrática de Derecho Civil de la Pontificia Universidad Católica de Chile
- EDUARDO FERRER MAC-GREGOR POISOT**
Juez de la Corte Interamericana de Derechos Humanos Investigador del Instituto de Investigaciones Jurídicas de la UNAM
- OWEN FISS**
Catedrático emérito de Teoría del Derecho de la Universidad de Yale (EEUU)
- JOSÉ ANTONIO GARCÍA-CRUCES GONZÁLEZ**
Catedrático de Derecho Mercantil de la UNED
- JOSÉ LUIS GONZÁLEZ CUSSAC**
Catedrático de Derecho Penal de la Universidad de Valencia
- LUIS LÓPEZ GUERRA**
Catedrático de Derecho Constitucional de la Universidad Carlos III de Madrid
- ÁNGEL M. LÓPEZ Y LÓPEZ**
Catedrático de Derecho Civil de la Universidad de Sevilla
- MARTA LORENTE SARIÑENA**
Catedrática de Historia del Derecho de la Universidad Autónoma de Madrid
- JAVIER DE LUCAS MARTÍN**
Catedrático de Filosofía del Derecho y Filosofía Política de la Universidad de Valencia
- VÍCTOR MORENO CATENA**
Catedrático de Derecho Procesal de la Universidad Carlos III de Madrid
- FRANCISCO MUÑOZ CONDE**
Catedrático de Derecho Penal de la Universidad Pablo de Olavide de Sevilla
- ANGELIKA NUSSBERGER**
Catedrática de Derecho Constitucional e Internacional en la Universidad de Colonia (Alemania). Miembro de la Comisión de Venecia
- HÉCTOR OLASOLO ALONSO**
Catedrático de Derecho Internacional de la Universidad del Rosario (Colombia) y Presidente del Instituto Ibero-Americano de La Haya (Holanda)
- LUCIANO PAREJO ALFONSO**
Catedrático de Derecho Administrativo de la Universidad Carlos III de Madrid
- CONSUELO RAMÓN CHORNET**
Catedrática de Derecho Internacional Público y Relaciones Internacionales de la Universidad de Valencia
- TOMÁS SALA FRANCO**
Catedrático de Derecho del Trabajo y de la Seguridad Social de la Universidad de Valencia
- IGNACIO SANCHO GARGALLO**
Magistrado de la Sala Primera (Civil) del Tribunal Supremo de España
- ELISA SPECKMANN GUERRA**
Directora del Instituto de Investigaciones Históricas de la UNAM
- RUTH ZIMMERLING**
Catedrática de Ciencia Política de la Universidad de Mainz (Alemania)

Fueron miembros de este Comité:

Emilio Beltrán Sánchez, Rosario Valpuesta Fernández y Tomás S. Vives Antón

Procedimiento de selección de originales, ver página web:
www.tirant.net/index.php/editorial/procedimiento-de-seleccion-de-originales

INCENTIVOS FISCALES AMBIENTALES A LA ELECTROMOVILIDAD

Alcance y evaluación en México

**Martha Elba Palos Sosa
Gloria María Plascencia de la Torre
Eduardo Méndez Aguilar**



**UNIVERSIDAD DE
GUADALAJARA**

Red Universitaria e Institución Benemérita de Jalisco

tirant lo blanch
Ciudad de México, 2025

Copyright © 2025

Todos los derechos reservados. Ni la totalidad ni parte de este libro puede reproducirse o transmitirse por ningún procedimiento electrónico o mecánico, incluyendo fotocopia, grabación magnética, o cualquier almacenamiento de información y sistema de recuperación sin permiso escrito de los autores y del editor.

En caso de erratas y actualizaciones, la Editorial Tirant lo Blanch publicará la pertinente corrección en la página web www.tirant.com/mex.

Este libro será publicado y distribuido internacionalmente en todos los países donde la Editorial Tirant lo Blanch esté presente.

© Varios autores

D.R. © 2025, Universidad de Guadalajara
Avenida Juárez 976,
Colonia Centro, C.P. 44100, Guadalajara,
Jalisco, México.
ISBN: 978-607-581-521-3

© TIRANT LO BLANCH
DISTRIBUYE: TIRANT LO BLANCH MÉXICO
Av. Tamaulipas 150, Oficina 502
Colonia Hipódromo, Cuauhtémoc,
CP 06100, Ciudad de México
Telf: +52 1 55 65502317
infomex@tirant.com
www.tirant.com/mex/
www.tirant.es
ISBN: 978-84-1095-022-1
MAQUETA: Innovatext

Si tiene alguna queja o sugerencia, envíenos un mail a: atencioncliente@tirant.com.
En caso de no ser atendida su sugerencia, por favor, lea en www.tirant.net/index.php/empresa/politicas-de-empresa nuestro Procedimiento de quejas.

Responsabilidad Social Corporativa: <http://www.tirant.net/Docs/RSC/Tirant.pdf>

Índice

ABREVIATURAS	11
PRÓLOGO	13
Dr. Cristian Omar Alcantar López	
CONTEXTO	15
<i>Capítulo 1</i>	
LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO Y SU IMPACTO EN LA SALUD PÚBLICA Y EL MEDIO AMBIENTE	21
1. Los gases de efecto invernadero y su impacto en la salud pública y el medio ambiente	21
<i>Capítulo 2</i>	
ELECTROMOVILIDAD Y LA SOSTENIBILIDAD DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS	25
1. Electromovilidad.....	25
2. La electromovilidad y la sostenibilidad.....	28
2.1. La producción de VEs como parte de la cadena global de valor	32
2.2. El ciclo de vida de los vehículos eléctricos	33
2.3. Reciclaje de los vehículos eléctricos y el impacto ambiental.....	37
2.4. Energía renovable y la efectividad de los vehículos eléctricos	38
2.5. Cifras reveladoras del ciclo de vida del vehículo eléctrico y las emisiones de GEI.....	40
<i>Capítulo 3</i>	
CONTEXTO INTERNACIONAL SOBRE INCENTIVOS FISCALES Y SU EFECTIVIDAD	43
1. Contexto.....	43
<i>Capítulo 4</i>	
ELECTROMOVILIDAD E INCENTIVOS FISCALES EN MÉXICO	55
1. Electromovilidad en México. Importancia y estado actual....	55
1.1. Acuerdo de París (2015)	55

1.2.	Acuerdo de Katowice (2018)	56
1.3.	Declaración de Glasgow (2021)	56
1.4.	Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP27) en Egipto	57
1.5.	Tratados de Libre Comercio	57
1.6.	Iniciativas de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)	57
2.	Incentivos fiscales en México y el tránsito hacia la electromovilidad	59
2.1.	Avances regulatorios ante el tránsito a la electromovilidad	60
2.2.	Estrategia nacional para los incentivos fiscales a la electromovilidad	65
3.	Otros incentivos estatales	70
4.	Los incentivos fiscales en el contexto de nearshoring	71

Capítulo 5

EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE LOS INCENTIVOS FISCALES EN MÉXICO	73
1. Indicadores de adopción	74
2. Infraestructura de recarga: La cantidad de estaciones de carga instaladas es otro indicador crítico	77
Capacidad de carga	77
Energía limpia para recarga	79
3. Análisis de costos y beneficios	83
a) Beneficios ambientales	83
b) Beneficios económicos	92

Capítulo 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	95
ANEXO	99
Glosario de términos técnicos utilizados en el libro	99
BIBLIOGRAFÍA	103

ABREVIATURAS

ALC	América Latina y el Caribe
CAIT	Centro Informático sobre Cambio Climático
CENACE	Centro Nacional de Control de Energía
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CDMx	Ciudad de México
CH₄	Metano
CIEP	Centro de Investigación Económica y Presupuestaria
CN	Carbón Negro
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático
CO	Monóxido de Carbono
CONUEE	Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía
COP24	Conferencia de las Partes 24
ENCC	Estrategia Nacional de Cambio Climático
FOTEASE	Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GIZ	Cooperación Alemana al Desarrollo Sustentable
GyCEI	Gases y Compuestos de Efecto Invernadero
HFC	Hidrofluorocarbonos
IEA	Agencia Internacional de Energía
IEECC	Instituto Estatal de Energía y Cambio Climático
INEGYCEI	Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero
INTAL	Instituto para la Integración de América Latina
IMCO	Instituto Mexicano para la Competitividad
Iprima	Impuesto de primera matrícula

ISAN	Impuesto Sobre Automóviles Nuevos
ISR	Impuesto Sobre la Renta
ITF	Foro Internacional de Transporte
IVA	Impuesto al Valor Agregado
LGCC	Ley General del Cambio Climático
LGEEPA	Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección Ambiental
LTE	Ley de Transición Energética
MIEM	Ministerio de Industrias, Energía y Minería de la República
NOMs	Normas Oficiales Mexicanas
NDC	Contribuciones Determinadas de Carbono
N₂O	Óxido Nitroso
NO₂	Dióxido de Nitrógeno
O₃	Ozono
ODS	Objetivos de Desarrollo Sustentable
OLADE	Organización Latinoamericana de Energía
OMS	Organización Mundial de la Salud
ONU	Organización de Naciones Unidas
PAESE	Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico
PECC	Programa Especial de Cambio Climático
PETE	Programa Especial de la Transición Energética
PFC	Perfluorocarbonos
PM	Material Particulado
PRODESEN	Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional
PRONASE	Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía
PTS	Programa de Transporte Sustentable
SO₂	Dióxido de Azufre
SF₆	Hexafluoruro de azufre
TES	Escenario de Transición Energética Soberana
UE	Unión Europea
VEs	Vehículos Eléctrico

PRÓLOGO

La presente obra de nombre “Incentivos fiscales ambientales a la electromovilidad. Alcance y evaluación en México”, que tengo el agrado de presentar, es una investigación desarrollada por las y los autores Martha Elba Palos Sosa, Gloria María Plascencia de la Torre, Eduardo Méndez Aguilar y Esteban Eduardo Méndez Palos como colaborador. El libro se enmarca como parte de la investigación desarrollada en el Centro de Investigación en Estudios Fiscales.

En un contexto de transformación social, resulta imperante y determinante el estudio en materia fiscal, que impulse distintas líneas de Investigación como los impuestos medioambientales y la innovación tributaria, siendo un campo temático pertinente no solo en los procesos hacendarios sino en el desarrollo sostenible de las sociedades.

La investigación expone como eje fundamental, la importancia de atender los desafíos del cambio climático desde la perspectiva de los incentivos fiscales otorgados en México, como herramienta clave en la estrategia para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero promoviendo la protección al medio ambiente.

La propuesta presentada, evidencia aportes teóricos que resaltan por su pertinencia y contenido, que parten de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente que aplica en México como fundamento jurídico en materia de derecho ambiental, la cual, aborda los instrumentos económicos de carácter fiscal, los estímulos fiscales que incentiven el cumplimiento de los objetivos de la política ambiental, así como las actividades prioritarias que pueden recibir estos estímulos fiscales.

Como parte del trabajo se indaga sobre a los gases de efecto invernadero y su impacto en la salud pública y el medio ambien-

te, continúa con el estudio de la electromovilidad y la sostenibilidad de los vehículos eléctricos, siguiendo con el estudio sobre el contexto internacional de los incentivos fiscales y cuál ha sido su incidencia.

Además, se analiza, si los estímulos fiscales establecidos a la producción, adquisición y uso de autos eléctricos ha cumplido con los propósitos planteados, de manera específica, si han disminuido la emisión de gases efecto invernadero. Para finalizar, se evaluó la efectividad de las políticas de incentivos fiscales vigentes en México que promuevan instrumentos económicos de control ambiental para disminuir el uso de combustibles fósiles.

Derivado de la investigación y de los hallazgos del trabajo, se presentan distintas reflexiones, recomendaciones y propuestas para mejorar el diseño o en su caso la implementación de nuevas políticas públicas que inciden de manera positiva en la aplicación de incentivos fiscales y la electromovilidad, que a su vez impulse el uso de vehículos eléctricos en el país.

Finalmente, solo queda resaltar que este libro podrá considerarse como un referente en la literatura, o en su caso será para el lector, un documento guía con argumentos confiables para profundizar en temáticas medioambientales, siendo un elemento innovador en materia tributaria.

Dr. Cristian Omar Alcantar López
Jefe del Departamento de Impuestos
CUCEA-Universidad de Guadalajara

CONTEXTO

Ante la Organización de las Naciones Unidas México ratificó junto con 29 naciones el Acuerdo de París, el cual debió cumplir con dos condicionantes para su entrada en vigor: ser ratificado por al menos 55 países y que éstos representaran al menos 55% de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) globales. Así México se comprometió a reducir las emisiones de GEI en un 22% para 2030. Sin embargo, en la actualidad, la contaminación atmosférica sigue siendo un problema crítico, especialmente en áreas urbanas densamente pobladas como la Ciudad de México y su zona metropolitana (Organización de Naciones Unidas [ONU], 2015).

El 30 de diciembre del 2021, México entregó una actualización de las contribuciones determinadas a nivel nacional (NDC) para refrendar los compromisos asumidos en 2015. Se consideraron temas de adaptación al cambio climático y mitigación de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (GyCEI) con el compromiso de disminuir hasta en un 36% sus emisiones, así como un 70% de las emisiones de carbono negro para el año 2030 respecto al escenario tendencial. El país adopta también la Agenda 2030 de las Naciones Unidas y sus 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (Paris Agreement – Status of Ratification, 2021).

Paradójicamente, México enfrenta problemas significativos de calidad del aire, con más de 13 ciudades superando los límites de contaminación establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS). (Neuron Business media, 2024). Los contaminantes más comunes en la atmósfera mexicana son el ozono (O₃) generado a partir de la reacción de otros contaminantes en presencia de luz solar y el dióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO₂) y material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}) que son otros contaminantes críticos que afectan la calidad del aire y la salud pública.

A lo anterior se puede agregar que el 95% de las necesidades energéticas del sector transporte en México se satisfacen actualmente con petróleo y sus derivados, lo que indica una dependencia significativa de los combustibles fósiles y contribuye significativamente a la crisis ambiental. En el país, los vehículos automotores son responsables de aproximadamente el 84% de las emisiones de óxido de nitrógeno, un precursor del ozono. La alta densidad de tráfico y la antigüedad de muchos vehículos contribuyen significativamente a la contaminación del aire (Neuron Business media, 2024).

El marco legal de México ante la reducción de GEI es robusto y está en constante evolución, buscando cumplir con los compromisos internacionales y responder a los desafíos del cambio climático. Los incentivos fiscales que utiliza el país también son herramientas clave en la estrategia para reducir las emisiones de GEI y promover un desarrollo más sostenible.

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), es la ley fundamental en materia de derecho ambiental en México. En su Artículo 22, se establece que se consideran instrumentos económicos de carácter fiscal los estímulos fiscales que incentiven el cumplimiento de los objetivos de la política ambiental. Esta ley también menciona en el Artículo 22 bis las actividades prioritarias que pueden recibir estos estímulos fiscales, remitiéndose a la Ley de Ingresos de la Federación para determinar los estímulos específicos para cada actividad (Ley General Del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, 1988, última reforma 2024).

Entre los incentivos ambientales se contemplan deducciones fiscales para energías renovables, estímulos fiscales para proyectos de eficiencia energética, programas de bonos verdes y fomento a vehículos híbridos y eléctricos. Sobre estos últimos México tiene compromisos adquiridos por la firma de acuerdos internacionales ambientales, que obliga a los países a modificar sus políticas económicas y regulatorias para comercializar únicamente vehículos cero emisiones para el año 2040.

Esta situación y el hecho de que vehículos automotores son responsables de las mayores emisiones de óxido de nitrógeno

resalta la adopción por parte de México de plantear alternativas más limpias y sostenibles en el transporte, como la electromovilidad (Neuron Business media, 2024); consecuentemente, la electromovilidad y los incentivos fiscales están intrínsecamente relacionados como herramientas para el control ambiental en México.

Es así como la electromovilidad, que incluye el uso de vehículos eléctricos (VEs) y la infraestructura de carga necesaria, se presenta como una alternativa para reducir las emisiones de gases contaminantes sobre la base de considerar que los vehículos eléctricos no solo disminuyen la contaminación del aire al no emitir gases de escape, sino que, si se combinan con una matriz energética más limpia pueden contribuir significativamente a la reducción de las emisiones de GEI.

Bajo esta política México ha experimentado un crecimiento del 44% en la compra de vehículos eléctricos, lo que refleja un aumento en la inversión y la adopción de tecnologías más limpias en el sector automotriz. Se espera que aproximadamente un 30% de los vehículos de pasajeros en México sean modelos de solo batería, híbridos enchufables y totalmente híbridos para el año 2030 (Neuron Business media, 2024)

A pesar de los beneficios reconocidos, la electromovilidad enfrenta desafíos como la infraestructura insuficiente de carga y la necesidad de inversión en tecnologías limpias. Además, la dependencia de combustibles fósiles en la generación de electricidad sigue siendo un obstáculo a los propósitos ambientales del país a pesar de que la adopción de VEs y la implementación de incentivos fiscales estén reconocidos como herramientas clave para abordar el cambio climático y mejorar la calidad del aire.

La efectividad de los incentivos fiscales en México puede variar según diversos factores, como su diseño, regulación y el contexto económico. Sin embargo, lo más crucial es que se realice un monitoreo constante y evaluaciones periódicas de sus efectos. Este análisis debe ser un proceso continuo que permita ajustar las políticas fiscales a fin de maximizar su impacto en la reducción de emisiones y en el desarrollo sostenible del país.

Por otra parte, no existen estudios que permitan demostrar su eficiencia, en particular de los estímulos fiscales otorgados en los tres ámbitos de gobierno a la producción, adquisición y uso de los autos eléctricos. En este nuevo contexto, es fundamental evaluar si los estímulos fiscales, considerados uno de los instrumentos económicos clave para el control ambiental, han demostrado ser efectivos.

Por lo anterior, este trabajo plantea analizar si los estímulos fiscales otorgados a la producción, adquisición y uso de autos eléctricos ha cumplido con los objetivos planteados, en particular, reducir la emisión de gases efecto invernadero, es decir, si ha generado el impacto positivo esperado, como política fiscal ambiental, fomento de la movilidad sostenible y la mejora de la infraestructura relacionada.

Con este trabajo se busca evaluar, además, la efectividad de las políticas de incentivos fiscales vigentes en México para impulsar la adopción de vehículos eléctricos. A través de un análisis de la situación actual del país y las políticas públicas implementadas para fomentar la electromovilidad, se pretende contribuir desde la investigación a promover instrumentos económicos de control ambiental que reduzcan el uso de combustibles fósiles y las emisiones de gases de efecto invernadero.

La metodología utilizada para dar cumplimiento al objetivo es en primer lugar una investigación documental para recopilar información sobre incentivos fiscales existentes y su relación con la electromovilidad en México. Esto incluye leyes, políticas públicas y estudios previos que analicen el impacto de estos incentivos en la adopción de vehículos eléctricos en México.

Sobre la base del análisis y la síntesis se profundiza en conceptos clave como gases de efecto invernadero (GEI), electromovilidad, incentivos fiscales y la evaluación de su efectividad a fin de establecer un entendimiento claro del tema.

La metodología de evaluación de la efectividad de los incentivos fiscales se basó en los indicadores propuestos en los estudios de Global EV Outlook de la Agencia Internacional de Energía (IEA), Study on the Economics of Electric Vehicle Adoption (Coffman, Bernstein, & Wee, 2017), Transition to Electric Vehicles:

The Role of Policy and Infrastructure (Li, Yi, & Williams, 2020), Understanding the Electric Vehicle Adoption in Urban Environments (Sierzchula et al., 2014).

Estos estudios son representativos de la forma en que se utilizan estos indicadores para medir la adopción de VEs y evaluar la suficiencia de la infraestructura de carga. Además, muestran cómo estas métricas son fundamentales para el diseño de políticas efectivas que promuevan la movilidad eléctrica.

De los estudios anteriores se asumieron indicadores para medir la efectividad de los incentivos fiscales, como los de adopción de vehículos eléctricos, indicadores de infraestructura de carga, indicadores ambientales relacionados esencialmente con la reducción de emisiones de GEI e indicadores económicos adecuados al contexto de México.

Basándose en los hallazgos, el trabajo culmina con recomendaciones para optimizar los incentivos fiscales y mejorar su efectividad en la promoción de la electromovilidad, así como la propuesta de sugerencias de nuevas políticas o ajustes a las existentes que puedan facilitar una mayor adopción de vehículos eléctricos en México sobre la base del análisis de las opiniones de expertos y estudios sobre el tema.

Capítulo 1

LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO Y SU IMPACTO EN LA SALUD PÚBLICA Y EL MEDIO AMBIENTE

1. LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO Y SU IMPACTO EN LA SALUD PÚBLICA Y EL MEDIO AMBIENTE

Los gases que atrapan el calor en la atmósfera se conocen como gases de efecto invernadero (GEI). Estos gases, que pueden ser tanto de origen natural como resultado de la actividad humana, tienen la capacidad de absorber y emitir radiación infrarroja. Aunque son esenciales para la supervivencia humana y de millones de especies, el aumento de las poblaciones, el crecimiento económico y la elevación de los estándares de vida han llevado a un incremento de sus emisiones.

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático reconoce seis GEI: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF_6) (Instituto Estatal de Energía y Cambio Climático (IEECC, 2017).

En México existe el Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGYCEI) que informa sobre los seis GEI incluidos en el Anexo A del Protocolo de Kioto ya mencionados, pero adiciona las emisiones de carbono negro (CN), un forzante climático de vida corta. De acuerdo con datos del Inventario, para 2017, el gas más relevante que emite el país es el dióxido de carbono con 48% de las emisiones totales, seguido del metano con 19% (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2018).

Debido a las emisiones de GEI, se ha observado un aumento en la temperatura de la superficie terrestre, fenómeno conocido como calentamiento global. Este aumento de temperatura ha

desencadenado el cambio climático, que ha alterado los patrones de precipitación y la disponibilidad de agua. Como resultado, se han incrementado la frecuencia e intensidad de fenómenos como inundaciones, sequías e incendios forestales, así como las afectaciones en la agricultura.

Estos cambios climáticos han llevado a una intensificación de los fenómenos meteorológicos, que representan un riesgo significativo para la población. En consecuencia, existe una emergencia global, ya que el cambio climático es considerado uno de los problemas ambientales más críticos de la actualidad.

Desde un enfoque científico, se sostiene que, para limitar el cambio climático inducido por la actividad humana a un nivel específico, es necesario controlar las emisiones acumuladas de CO₂ y alcanzar una tasa neta cero de emisiones, junto con reducciones significativas en otras emisiones de GEI (Centro de Investigación Económica y Presupuestaria, CIEP, 2022).

Para lograr este objetivo, 194 gobiernos firmaron el Acuerdo de París, comprometiéndose a implementar acciones para mantener el aumento de la temperatura media global por debajo de los 2°C y a realizar esfuerzos adicionales para limitar el incremento a no más de 1.5°C (Organización de Naciones Unidas [ONU], 2015).

Según un estudio del Instituto para la Integración de América Latina y el Caribe (INTAL) del sector de Integración y Comercio (INT) del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) (Michelena et al., 2023, p.7), las emisiones totales de CO₂ han crecido en forma sostenida desde inicios de la Revolución Industrial y alcanzan cerca de 39 GtCO₂e (gigatoneladas de dióxido de carbono equivalente) en el año 2022.

Sin embargo, según el mismo estudio, la contribución a las emisiones totales varía entre regiones, siendo los países de mayores ingresos y China responsables del 30% del total. En contraste, América Latina y el Caribe (ALC) representan solo el 5% de las emisiones mundiales, con Brasil y México como los principales emisores en la región. A nivel global, la Unión Europea (UE) se destaca con aproximadamente el 8% de las emisiones de CO₂ en 2022, mientras que las regiones de Asia-Pacífico y Norteamérica contribuyen con el 20% y el 18%, respectivamente.

El impacto de los GEI es tanto en la salud pública como en el medio ambiente. El CO₂ es uno de los principales gases de efecto invernadero que afecta tanto a la salud como las actividades del ser humano. Los sectores más representativos que participan directamente en la emisión de gases a la atmósfera a nivel internacional son: el sector del transporte, la industria y la electricidad (Carvajal, 2023; US EPA, 2023).

De acuerdo con los datos procesados a partir de 2022 por la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) y Centro de Datos sobre el Cambio Climático (CAIT), se conoce que el sector del transporte emite alrededor del 40% debido al uso de combustibles fósiles, mientras que el sector industrial emite alrededor del 18%, dejando al sector eléctrico con emisiones aproximadas del 36 (Carvajal, 2023; US EPA, 2023).

En la región de ALC, en países como Brasil y México las emisiones del sector del transporte superan el 40% del total, mientras que, en otros países y regiones, como la Argentina y en la Comunidad del Caribe (CARICOM), no superan el 30% (Michelena et al., 2023, p.8).

En términos de efectos de los GEI, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) ha reconocido que la región de América Latina y el Caribe (ALC) es la más propensas a los desastres, con un aumento promedio del 62% en el número de fenómenos meteorológicos extremos relacionados con el clima durante el periodo 2001-2022, en comparación con el periodo 1980-2000 (OECD, 2023, p.24).

Además, los fenómenos climáticos están impactando los ecosistemas, la seguridad alimentaria e hídrica, la salud humana y la pobreza, así como a zonas urbanas, la productividad agrícola, los regímenes hidrológicos, los medios de subsistencia costeros y la biodiversidad (OECD, 2023, p.24).

Por último, los escenarios de cambio climático concebidos con altos niveles de incertidumbre sobre los impactos físicos del cambio climático y las políticas locales de adaptación “plantan que 5,8 millones de personas caerán en la pobreza extrema entre 2020 y 2030 en ALC, aumentando el promedio de pobreza en más de 300%, en comparación con un escenario sin cambio climático” (Arga Jafino et al., 2020, p. 2).

A manera de síntesis se puede afirmar que el análisis de los GEI y su impacto en la salud pública y el medio ambiente revela la urgente necesidad de mitigar las emisiones que están acelerando el cambio climático y degradando la calidad del aire. Los GEI, como el dióxido de carbono (CO_2) y el metano (CH_4), contribuyen al calentamiento global, afectando los ecosistemas, alterando patrones climáticos y aumentando la frecuencia de fenómenos extremos, como olas de calor e inundaciones.

Además, la quema de combustibles fósiles, que genera estos gases, también libera contaminantes como el monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx) y partículas finas (PM_{2.5}), que tienen efectos directos sobre la salud humana, provocando enfermedades respiratorias, cardiovasculares y exacerbando condiciones crónicas.

En este contexto, la electromovilidad ha surgido como una posible solución para abordar estos desafíos. La transición hacia vehículos eléctricos ofrece una oportunidad significativa para reducir las emisiones de GEI en el sector del transporte, que es uno de los principales contribuyentes a la contaminación atmosférica y al cambio climático. Al depender de electricidad en lugar de combustibles fósiles, estos vehículos pueden reducir drásticamente las emisiones locales de contaminantes, mejorando la calidad del aire en áreas urbanas y, por ende, la salud pública.

El análisis de los gases de efecto invernadero (GEI) no solo subraya la urgente necesidad de reducir las emisiones para proteger el medio ambiente, sino que también establece un vínculo claro con la electromovilidad como una estrategia viable. Sin embargo, esta transición hacia la movilidad eléctrica no está exenta de desafíos, los cuales se abordarán a lo largo de este trabajo que evalúa la efectividad de los incentivos fiscales a la electromovilidad en México.

Capítulo 2

ELECTROMOVILIDAD Y LA SOSTENIBILIDAD DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

1. ELECTROMOVILIDAD

La movilidad eléctrica o electromovilidad se refiere al uso de tecnologías de propulsión eléctrica, junto con información en medios de transporte motorizados y el uso de tecnologías de comunicación e infraestructuras conectadas para habilitar la propulsión eléctrica de vehículos y flotas. Se refiere al uso de vehículos y sistemas de transporte que funcionan con energía eléctrica, lo que incluye una variedad de tecnologías y tipos de vehículos.

Este concepto abarca tanto los vehículos completamente eléctricos, que son alimentados exclusivamente por baterías, como los híbridos enchufables, que combinan un motor de combustión con un motor eléctrico. También se incluyen vehículos que utilizan celdas de combustible para generar electricidad a partir de hidrógeno (Pérez et al., 2024, p. 3).

Ahora bien, habitualmente, el término “autos eléctricos” es utilizado en forma amplia, pero en los hechos existen diversos tipos de electric vehicles (VEs) que influyen en la sostenibilidad de varias maneras (Michelena, 2023, p. 20). Una primera diferencia dentro de esta categoría de vehículos reside en la utilización de baterías recargables o en el empleo de hidrógeno a pila de combustible (fuel cell electric vehicle, FCEV), que generan electricidad mediante la reacción entre el oxígeno y el hidrógeno.

Además, dentro de los vehículos que usan baterías, existe una diferencia principal entre aquellos que son 100% eléctricos (denominados battery electric vehicle, BEV) y los híbridos, que combinan un motor eléctrico con un motor de combustión interna.

Por último, los híbridos se diferencian entre los no enchufables (denominados hybrid electric vehicle, HEV), cuya ba-

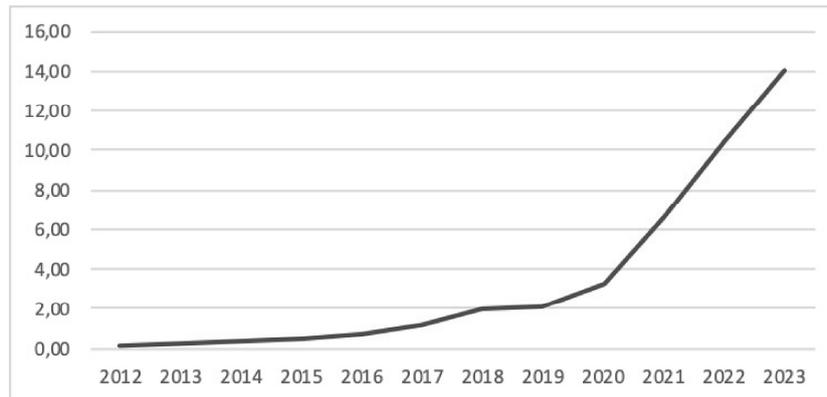
tería convencional se recarga principalmente con la energía cinética del vehículo durante el frenado (regenerative brake), haciendo funcionar al motor inversamente como un generador; y los que también pueden ser cargados desde fuentes externas al ser enchufados (denominados plug-in hybrid electric vehicle, PHEV).

En el marco de un nuevo paradigma, la industria automotriz ha asumido a nivel global crecientes compromisos a fin de contribuir con la mitigación de las emisiones contaminantes mediante estrategias que favorezcan la introducción de vehículos electrificados sobre los vehículos de combustión interna. Evidentemente, el tránsito hacia la electromovilidad y la electrificación del sector automotriz contribuiría de manera amplia al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sustentable.

Es necesario considerar que en la transición hacia la electromovilidad confluyen múltiples factores interrelacionados entre sí como: cambio climático, eficiencia energética, energías renovables, competitividad industrial, investigación, desarrollo e innovación (I+D&I), especialmente en países donde la industria automotriz es parte de la matriz productiva y exportadora. Por tal motivo, el fomento a la electrificación de la flota y movilidad sustentable está siendo acompañada por estrategias de política pública integrales desarrolladas en cada país en conjunto con la industria automotriz a fin de mitigar las emisiones y, al mismo tiempo, fomentar la competitividad industrial.

Esta transición se hace evidente en los datos relativos a las ventas de vehículos a nivel internacional. A continuación, se presenta el gráfico 1 con las ventas de vehículos eléctricos a nivel mundial desde 2012 hasta 2023, basado en los datos disponibles del año 2024.

Gráfico 1. Ventas de vehículos eléctricos a nivel mundial desde 2012 hasta 2023 (millones)



Nota. Incluye automóviles eléctricos tanto eléctricos a batería (BEV) como híbridos enchufables (PHEVs). Fuente: elaboración propia sobre la base de datos de la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2023, 2024) y Tridens Technology (2023).

De acuerdo con Agencia Internacional de Energía [IEA] (IEA, 2023) las ventas mundiales de VEs batieron récords en 2022 al crecer prácticamente un 60% de forma interanual con respecto al año 2021. Debido a este auge explosivo, la participación de las ventas globales de VEs sobre las ventas totales de vehículos prácticamente se duplicó en un año, aumentando de un 8,7% en 2021 a un 14% en 2022.

De forma particular las ventas de BEVs representaron el 72% de las ventas mundiales, mientras que el resto corresponde a los PHEVs. La cantidad total de automóviles eléctricos (BEV más PHEV) en funcionamiento en el mundo, a finales de 2022, fue de unos 25,9 millones de unidades, cinco veces más que en 2018.

En general, según las previsiones del nuevo informe sobre Perspectiva mundial de vehículos eléctricos de 2024 de la Agencia Internacional de la Energía (AIE, 2024), más de uno de cada cinco automóviles vendidos en todo el mundo este año será eléctrico. Para el año 2035 uno de cada dos automóviles vendidos a nivel mundial será eléctrico. Sin embargo, estas ventas solo el 9% de las ventas globales, concentradas sobre todo en China, Europa y Norteamérica.

De forma particular en China se prevé que las ventas en aumenten a alrededor de 10 millones (45 % de todas las ventas de automóviles en el país); en Estados Unidos, uno de cada nueve vehículos vendidos será eléctrico; y en Europa los autos eléctricos representarán aproximadamente un 10 % de los automóviles vendidos (AIE, 2024).

En el contexto de América Latina se aprecia un relativo atraso en la implementación de electromovilidad. Chile, Colombia, Perú, Brasil y Uruguay son los países que muestran mayores avances. La formulación de estrategias nacionales de movilidad eléctrica se ha convertido en una tendencia regional. Chile, Colombia, Costa Rica, Panamá, y República Dominicana han publicado políticas nacionales en electromovilidad, mientras están en proceso de desarrollo de planes o estrategias México, Guatemala, Honduras, Paraguay, Nicaragua, El Salvador, Ecuador y Argentina (Zagorodny, 2023).

2. LA ELECTROMOVILIDAD Y LA SOSTENIBILIDAD

Prima facie la relación entre electromovilidad y sostenibilidad están intrínsecamente relacionadas, y avanzar hacia un modelo de movilidad sostenible es esencial para enfrentar los retos ambientales y sociales actuales, garantizando un futuro más saludable y equitativo para todos y para el desarrollo de ciudades más habitables y saludables.

Si bien la relación entre electromovilidad y sostenibilidad es innegable, es importante considerar los diferentes enfoques y matices para entender su complejidad y potencial. La electromovilidad puede ser una pieza clave, pero debe ir acompañada de un análisis crítico, una visión integral y a largo plazo que priorice la sostenibilidad en todas sus dimensiones.

Ulriksen (2023, p. 10) señala objetivamente, basada en los estudios Cresswell et al. (2018), que uno de los “enfoques desde los cuales se aborda la movilidad eléctrica es el de transición a movilidades descarbonizadas, es decir, el cambio de un sistema de movilidad basado en petróleo a uno bajo en carbono, lo cual se considera esencial dado que el sector transporte es el segundo

mayor emisor de gases de efecto invernadero después de la industria energética a nivel mundial.

De forma crítica la autora señala que a partir de estudios realizados por Cresswell et al. (2018) las políticas públicas se enfocan principalmente en mejorar la eficiencia energética de los modos de transporte existentes, centrándose en el desarrollo de automóviles eléctricos y combustibles alternativos a la gasolina y el diésel. Eventualmente según el trabajo sobre *Perspectivas del Transporte 2023* del Foro Internacional del Transporte (ITF) de la OCDE, si se mantienen las medidas actuales de descarbonización del transporte y los compromisos asumidos por los países, las emisiones mundiales de CO₂ relacionadas con el transporte solo se reducirían un 3% de 2019 a 2050. (OCDE/ITF 2023).

Sin embargo, afirma Ulriksen (2023) que, desde la perspectiva de políticas públicas, la promoción de la movilidad eléctrica, centrada en la descarbonización, parece responder más a intereses de crecimiento económico que a una verdadera política de movilidad sostenible. Cresswell et al. (2018) indica que tal transición ha sido pobremente iniciada, y concluye, a partir del análisis de políticas públicas de catorce países de distintos continentes, que la movilidad no es el propósito principal de políticas públicas, sino más bien un accesorio a otras, principalmente de crecimiento económico.

Es ineludible asumir una postura crítica ante un enfoque predominantemente tecnológico de la electromovilidad. La perspectiva asumida en este trabajo es que la electromovilidad implica un enfoque crítico de la tradicional visión de la literatura, centrada en la tecnología de propulsión, las emisiones de CO₂ y la eficiencia energética que asume que los VEs, en una combinación con una generación de energía más limpia, pueden contribuir significativamente a la reducción de la contaminación atmosférica y a la mitigación del cambio climático y que la electrificación del transporte puede reducir la dependencia de los combustibles fósiles y aumentar la eficiencia energética (Solís, 2023).

Varios autores como Bergman, Schwanen y Sovacool (2017). Anable y Goodwin (2019), Henderson (2020) reconocen que existen pocos enfoques críticos en la investigación tanto académica

como profesional sobre la electromovilidad lo cual puede ser contraproducente debido que los promotores de los VEs están realizando supuestos sobre el futuro, lo que puede “eclipsar otros caminos hacia una descarbonización profunda, como la movilidad verde y las ciudades compactas”

Ello también podría significar el desvío de recursos en el planeta mientras se hace poco para mitigar el calentamiento global, dado que los automóviles eléctricos aumentarán la demanda tanto de recursos como de energía (Ulriksen, 2023).

En la literatura se enfatiza en la necesidad de incorporar también un enfoque territorial y relacional, que conecta distintas escalas y permita una mirada comprensiva y compleja, debido a que, tras los vehículos eléctricos, existe un ciclo de vida de fabricación, operación y reciclaje de sus componentes y posiciona el análisis en la cadena de valor. En esas relaciones hay que incluir también el análisis de la matriz energética que se emplea para la producción y uso de los VEs debido a los efectos que ello tiene en las emisiones de CO₂ (Sheller, 2018; Henderson, 2020).

Una vez esclarecida la posición asumida en este trabajo es fundamental profundizar en el hecho de que los vehículos eléctricos también generan un impacto ambiental. Un análisis de lo general a lo particular permitirá explorar las diversas causas de este problema, planteando la siguiente interrogante: ¿Qué tan sostenible es realmente el vehículo eléctrico?

Cabe destacar que la sostenibilidad de los vehículos eléctricos no es un tema sencillo ni unidimensional. Al examinar algunos estudios sobre los beneficios de la movilidad eléctrica en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, se constata que los beneficios reconocidos están condicionados por múltiples factores, incluyendo el tipo de vehículo, la fuente de energía utilizada, la infraestructura de carga disponible, y el clima de cada región, entre otros aspectos (Requia et al., 2018).

Para realizar un análisis exhaustivo de la sostenibilidad de los VEs, es ineludible considerar múltiples ejes transversales que se deducen de un análisis detallado de la literatura. Estos ejes deben permear el análisis presentado en este capítulo, de manera que se obtenga una visión integral y fundamentada sobre la sosten-

nibilidad de los vehículos eléctricos en sus diferentes dimensiones. Solo a través de un enfoque multifacético, que considere las diversas aristas del problema será posible llegar a conclusiones sólidas y proponer estrategias efectivas para fomentar una movilidad verdaderamente sostenible.

Grosso modo, los ejes que deben permear el análisis presentado en este capítulo para obtener una visión integral y fundamentada sobre la sostenibilidad de los vehículos eléctricos, en sus diferentes dimensiones, son los siguientes:

1. Impacto ambiental: relacionado con la reducción de emisiones de GEI y contaminantes locales durante el uso del vehículo; consideración de toda la cadena de valor y el ciclo de vida de los VEs, incluyendo la fabricación y disposición final, y la importancia de utilizar energía renovable para la carga de los vehículos eléctricos.

La evaluación de emisiones del ciclo de vida incluye el proceso de fabricación de los diferentes componentes del vehículo (cradle-to-grave), la generación de la energía (well-to-tank), la operación (emisiones de escape o tank-to-wheel), el mantenimiento de los vehículos y los procesos de fin de vida de sus componentes (por ejemplo, eliminación de residuos, reúso o reciclaje y posible recuperación de energía). GIZ-Ricardo (2021).

2. Tecnología y eficiencia: avances en la tecnología de baterías para mejorar la densidad energética, tiempos de carga y vida útil, eficiencia energética superior de los sistemas eléctricos en comparación con los motores de combustión interna, así como la capacidad de regeneración de energía durante el frenado para incrementar la autonomía.
3. Infraestructura y costos: desarrollo redes de estaciones de carga rápida accesibles para facilitar la adopción; costos iniciales y costos operativos de mantenimiento y uso de electricidad.
4. Contexto local y políticas públicas: adaptación del análisis al contexto específico en términos de matriz energética, infraestructura y condiciones socioeconómicas; papel

clave de las políticas públicas y regulaciones para promover la movilidad eléctrica y la sostenibilidad; necesidad de un enfoque integral y colaboración entre actores para abordar los desafíos de manera efectiva.

2.1. La producción de VEs como parte de la cadena global de valor

El enfoque relacional y territorial de la movilidad eléctrica planteado por Biresselioglu et al. (2017) implica considerar cómo las dinámicas sociales, económicas y ambientales de un área específica influyen en la implementación y efectividad de las políticas de movilidad eléctrica. Este enfoque reconoce que la movilidad no se puede entender de manera aislada, sino que está intrínsecamente ligada a las características del territorio, como su infraestructura, la cultura local, y las necesidades de la población en el contexto de una cadena global de valor.

La posición destacada de China, Estados Unidos y Europa en las ventas de vehículos eléctricos (VEs) a nivel mundial se debe a su dominio en toda la cadena de suministro y fabricación, así como a la percepción de los principales beneficios asociados. Sin embargo, los problemas relacionados con la producción de estos recursos recaen, esencialmente, en otros países.

Como se conoce, las baterías de los vehículos eléctricos requieren una variedad de minerales esenciales, como cobre, níquel, grafito, manganeso, cobalto y litio. Estos materiales son fundamentales no solo para la fabricación de las baterías, sino también para los componentes de los motores eléctricos, que a menudo incluyen cobre y aluminio. Por lo tanto, el primer eslabón de la cadena de suministro está relacionado con la extracción de los minerales esenciales para las baterías en países que tienen una participación significativa en el mercado.

Por ejemplo, en el caso del litio, Chile representa el 30% de la producción, seguido por Argentina con un 5% y Brasil con un 2%. En cuanto al cobre, Chile aporta el 15%, mientras que México, Perú y Brasil contribuyen con un 3%, 5% y 7%, respectivamente. En el caso del níquel, estos países representan un 3% del merca-

do (Michelena, 2023, p. 26). Sin embargo, es importante destacar que esta extracción conlleva significativos impactos ambientales para los países productores, lo que plantea desafíos adicionales en la búsqueda de una movilidad sostenible.

En la producción de semiconductores y baterías para vehículos eléctricos presenta una serie de desafíos ambientales que requieren atención urgente. Este proceso es intensivo en recursos y energía, lo que puede ser contraproducente con los beneficios ecológicos asociados a estos vehículos. La fabricación de semiconductores, que son componentes críticos en la electrónica moderna, implica un uso considerable de materiales como silicio, arseniuro de galio y germanio, cuya extracción y procesamiento generan un impacto ambiental significativo.

Hay que reconocer, además, que la cadena de suministro de la electromovilidad es compleja y globalizada, lo que puede generar vulnerabilidades. Las tensiones geopolíticas y los cambios en las políticas comerciales pueden afectar la disponibilidad de materiales y componentes críticos. Esto no solo impacta la producción de vehículos eléctricos, sino que también puede influir en los precios y la accesibilidad de estos vehículos para los consumidores.

2.2. El ciclo de vida de los vehículos eléctricos

En segundo lugar, es fundamental determinar si el ciclo de vida completo de los vehículos eléctricos resulta más ventajoso en comparación con los automóviles convencionales. Diversos estudios como los de Zagorodny (2023), aseveran que, para evaluar el impacto real de los automóviles eléctricos en el medio ambiente, es necesario realizar un análisis exhaustivo del ciclo de vida que contemple: producción de vehículos, incluyendo la extracción de metales raros utilizados en las baterías, el consumo de energía y el reciclaje de componentes.

Producción de VEs

Se reconoce que fabricar un coche eléctrico o híbrido tiene un mayor costo ambiental que uno convencional. Esta huella se debe sobre todo a la minería de los metales necesarios y tierras raras para las baterías de ion litio, que consume mucha energía

y agua y libera compuestos tóxicos. A ello se une que el peso de las baterías obliga a los ingenieros a introducir en el automóvil otros materiales más ligeros, también energéticamente costosos (Zagorodny, 2023).

La Agencia Internacional de Energía (AIE, 2021) informa que un vehículo eléctrico requiere seis veces más minerales que un vehículo de gasolina. Este aumento en la demanda de minerales se debe a la necesidad de materiales esenciales para la fabricación de baterías y componentes eléctricos.

Los vehículos eléctricos dependen de minerales como el litio, cobalto, níquel y cobre, que son fundamentales para el rendimiento y la eficiencia de las baterías. Según la AIE, un automóvil eléctrico necesita aproximadamente 62 kilogramos de grafito y 53 kilogramos de cobre, en comparación con los 26 kilogramos utilizados en los vehículos de combustión interna (AIE, 2021).

Para producir una tonelada de litio se puede optar por dos opciones principales: el primero requiere 250 toneladas de espodumena (es un aluminosilicato) mientras que el segundo requiere 750 toneladas provenientes de la sal. La producción de la sal conlleva crear un pozo muy profundo y sacar ese material a la superficie en un proceso que consume 1900 toneladas de agua para obtener una tonelada de litio. Por consiguiente, el procesamiento de tales magnitudes de materia prima lleva consigo un impacto ambiental significativo (Piñera, 2024).

Piñera (2024) agrega, además, que el impacto ambiental por kilómetro de los coches eléctricos en la etapa de producción es mucho mayor que los vehículos de combustión. Con el siguiente ejemplo se confirma su conclusión: cuando la vida útil es de unos 150.000 kilómetros las emisiones de GEI son, en promedio, entre 70 y 81 g CO₂/km dependiendo de la fuente de la energía usada en la fabricación. Si se considera una vida útil de unos 250.000 kilómetros el rango anterior baja hasta 28 y 49 g CO₂/km.

Según el estudio de Piñera (2024), la producción de baterías para vehículos eléctricos tiene un impacto significativo en la huella de carbono de estos vehículos. Se estima que entre el 25% y el 40% de la energía total requerida para fabricar un vehículo eléctrico, y entre el 20% y el 40% de las emisiones totales de CO₂

asociadas a su fabricación, provienen específicamente de la producción de la batería.

El tipo de batería tiene un rol muy importante, hay varios tipos de batería (LFP, LTO, LCO, LMO, NCM, NCA,) y el impacto ambiental de producir un tipo de batería u otro oscila entre 40 y 350 kg CO₂/kWhbattery capacity en el que la media se sitúa en torno a los 110 CO₂/kWhbattery capacity (Mahmoudzadeh, 2015).

Es importante tener en cuenta que estos datos son estimaciones basadas en diversos estudios, ya que el impacto real puede variar según factores como el tipo de batería, la ubicación y eficiencia de las plantas de producción, y la evolución de las tecnologías de fabricación.

En términos de impactos locales, la extracción de los minerales utilizados para la fabricación de baterías está altamente concentrada en ciertos países. Chile, Argentina y Brasil son líderes en la producción de litio, mientras que Chile, México y Perú dominan en la extracción de cobre. Esta concentración geográfica plantea desafíos significativos, ya que la producción de estos minerales puede tener impactos ambientales considerables en las regiones donde se extraen (Aguilera, 2021)

Además, la creciente demanda de minerales para vehículos eléctricos está impulsando un aumento en los precios, lo que podría afectar no solo la industria automotriz, sino también otros sectores que dependen de estos materiales. Según la AIE, si la transición energética se acelera, la necesidad de minerales podría multiplicarse por seis para 2040, lo que pone en riesgo los objetivos de sostenibilidad y reducción de emisiones (AIE, 2021).

Por lo tanto, es crucial abordar estos desafíos a través de una gestión sostenible de la cadena de suministro de minerales, así como fomentar el reciclaje de baterías para reducir la dependencia de la minería y mitigar los impactos ambientales.

La extracción de estos materiales raros, sus procesos de fabricación y su eventual eliminación plantean verdaderos desafíos ambientales y sociales, a tal punto que la extracción de litio también crea lo que los investigadores llaman “la sombra colonial de la electromovilidad” haciendo alusión a cómo la minería de litio en el salar de Atacama constituye una forma de extractivismo

verde que replica aún más las desigualdades históricas y afecta especialmente a los territorios indígenas andinos y los ecosistemas acuáticos del sur global (Jérez et al., 2020). La afirmación indica que la extracción de litio reproduce las desigualdades históricas entre los hemisferios norte y sur en lo que respecta al impacto en los territorios indígenas andinos.

En el cuadro 1 se precisan los problemas ambientales relacionados con la extracción de materiales y su fabricación en la cadena de valor para la producción de baterías a partir de diversas fuentes consultadas.

Cuadro 1. Problemas ambientales relacionados con la extracción de materiales y su fabricación.

Autor	Problemas ambientales
Nichols (2024)	Los componentes de las baterías de iones de litio a menudo se obtienen mediante la minería a cielo abierto. Se extrae mediante un método de minería horizontal de superficie implica la eliminación de la capa superior del suelo, la degradación ambiental extrema y la deforestación.
Iijima Cruz (2021)	El litio se encuentra debajo de las salinas de las zonas áridas del “triángulo del litio” (Chile, Bolivia y Argentina). Su extracción puede tardar 18 meses mediante un proceso de evaporación que utiliza enormes cantidades de agua. Cada tonelada de litio refinado consume hasta medio millón de galones de agua. Los resultados agotan el nivel freático y contaminan el suelo.
Jérez et al. (2020)	Las empresas mineras del Salar de Atacama de Chile, uno de los lugares más secos de la tierra, utilizan el 65 por ciento del agua de la región. El proceso de extracción de litio también utiliza sustancias químicas tóxicas que pueden contaminar los arroyos, los cultivos y la vida silvestre, lo que contribuye a la disminución de las especies en peligro de extinción.

Autor	Problemas ambientales
Dumett (2017) Zagorodny (2023), Nichols (2024)	La extracción de cobalto tiene un proceso similar al de la extracción de litio. El cobalto es un metal tóxico y la exposición e inhalación prolongadas del polvo de cobalto pueden provocar problemas de salud relacionados con la piel, los ojos y los pulmones. Miles de niños extraen cobalto en la República Democrática del Congo. A pesar de los efectos potencialmente mortales para la salud de una exposición prolongada, los mineros adultos y niños trabajan sin el equipo de protección más básico.
Zagorodny (2023)	El cobre, en su mayor parte, proviene de minas a cielo abierto en Chile. Este tipo de minería tiene un impacto negativo en la capa superior del suelo, la vegetación, los hábitats de la vida silvestre y las aguas subterráneas.

Fuente: Dumett (2017), Jérez et.al (2020), Ilijima Cruz (2021), Zagorodny (2023), Nichols (2024).

2.3. Reciclaje de los vehículos eléctricos y el impacto ambiental

Hay un cierto consenso sobre que la gestión adecuada de las baterías al final de su vida útil es crucial para minimizar el impacto ambiental. El desarrollo de tecnologías de reciclaje eficientes puede ayudar a recuperar materiales valiosos y reducir la necesidad de nuevas extracciones. Sin embargo, hay un costo ambiental que afecta también al último paso del ciclo de vida de los VES, el de los residuos, el reciclaje, gases refrigerantes, así como materiales reciclables y aquellos que se les puede dar un segundo uso, como motores y neumáticos (Piñera, 2024).

Correlativamente, a medida que aumenta la adopción de vehículos eléctricos, también lo hace la necesidad de gestionar adecuadamente los residuos generados por baterías y componentes electrónicos. Cuando el vehículo termina su vida útil, se inicia un proceso de desmontaje y reciclado de sus distintos componentes.

En el proceso de reciclado de los VEs los componentes de valor son aquellos que tiene partes de metal, como el níquel, cobalto, manganeso, aluminio, cobre o acero.

El reciclaje de las baterías de los VEs está acompañado de varios problemas ambientales (Harper, 2019; Piñera, 2024)

1. Los procesos actuales de reciclaje de baterías de iones de litio son a menudo ineficientes y requieren mucha energía.
2. Actualmente hay una capacidad limitada de reciclaje de baterías de vehículos eléctricos, especialmente fuera de las principales regiones. La falta de infraestructura adecuada para el reciclaje de estos materiales puede resultar en un impacto ambiental negativo, ya que muchos de estos componentes son tóxicos y difíciles de descomponer.
3. La existencia de baterías usadas es un peligro para el medio ambiente e incluso peligroso para los humanos. Si la batería no se puede reutilizar debe de ser reparado o reciclada en último caso. Este proceso de reutilización de las baterías al final de su vida útil puede ser un punto a favor en términos económicos, ya que se está suprimiendo la etapa de extracción del material.
4. Las baterías de iones de litio pueden presentar riesgos de incendio y explosión si no se manejan adecuadamente durante el reciclaje.

2.4. Energía renovable y la efectividad de los vehículos eléctricos

Ante la reiterada afirmación de que la transición hacia vehículos eléctricos ofrece una oportunidad significativa para reducir las emisiones de GEI en el sector del transporte y una vez expuestas las distintas apreciaciones sobre el análisis del ciclo de vida completo de los vehículos eléctricos cabe plantearse la pregunta ¿La huella de la fabricación y reciclaje de un vehículo eléctrico se compensa a lo largo de su vida útil?

Sobre este tema la respuesta es que ello depende de si la electricidad necesaria para recargar las baterías procede de fuentes

renovables y limpias o no. Algunos expertos afirman que un vehículo eléctrico puede generar más emisiones que uno de combustión y que ello depende de cada uno de contextos que representan los diferentes países como se evidenciará a continuación a partir de diversos autores que serán analizados a continuación.

En un artículo controvertido y criticado publicado en *The Guardian*, el economista Hans-Werner Sinn, de la Universidad de Múnich, en su artículo *¿Son realmente los vehículos eléctricos tan respetuosos con el clima?* sostenía que los vehículos eléctricos simplemente trasladan las emisiones del tubo de escape a las centrales eléctricas (Werner Sinn, 2019).

Aunque sus afirmaciones se basan en datos específicos del mix energético (combinación de diferentes fuentes de energía utilizadas para generar electricidad en un país o región) de Alemania, donde la generación de electricidad aún depende en gran medida de combustibles fósiles, lo que haría que sus conclusiones no son generalizables a otros países con diferentes fuentes de energía, lo cierto es que abre interrogantes sobre la verdadera sostenibilidad de los vehículos eléctricos, dado que su impacto ambiental depende en gran medida del origen de la electricidad utilizada para su carga.

Además, el debate sobre las emisiones generadas durante la producción de estos vehículos, especialmente en lo que respecta a la fabricación de baterías, resalta la necesidad de un análisis más profundo sobre el ciclo de vida completo de los automóviles eléctricos y su contribución a la reducción de emisiones de carbono como ya se ha sostenido en este trabajo.

La sostenibilidad total de los VEs depende de la fuente de energía utilizada para cargar las baterías. Si la electricidad proviene de fuentes renovables, el impacto ambiental es significativamente menor en comparación con la electricidad generada a partir de combustibles fósiles. Definitivamente, las fuentes de energía se convierten en una "conditio sine qua non" para analizar el tema de la eficacia del uso de los VEs en los diferentes contextos de estudio.

En un trabajo más profundo sobre el tema, Cornell (2019) llegó a la conclusión de que "hay una correlación positiva entre el por-

centaje de energía renovable y la eficacia de los vehículos eléctricos en la reducción de las emisiones de carbono asociadas al transporte”. Esto implica que la efectividad de la electromovilidad para disminuir las emisiones se maximiza cuando la energía utilizada para cargar los vehículos eléctricos proviene de fuentes renovables.

2.5. Cifras reveladoras del ciclo de vida del vehículo eléctrico y las emisiones de GEI

El mito de la teoría de “emisiones cero” en vehículos eléctricos (VE) surge de la percepción de que estos vehículos no contribuyen a la contaminación ambiental. Sin embargo, esta visión puede ser simplista y no considera todos los factores involucrados en el ciclo de vida de un VEs. Aquí hay algunas cifras reveladoras que desmitifican la idea de que los VEs son completamente libres de emisiones:

1. Jarod C. Kelly, analista principal de sistemas de energía del Laboratorio Nacional Argonne del Departamento de Energía (DOE, por sus siglas en inglés) de Estados Unidos, analizó las emisiones de gases de efecto invernadero de la cuna a la tumba y los costos económicos de los coches eléctricos y convencionales. Afirmó que, en las condiciones actuales, un coche eléctrico tardaría 19.500 millas (cerca de 31.000 kilómetros), es decir, menos de dos años de conducción normal en EE. UU., en amortizar las elevadas emisiones del proceso de fabricación y alcanzar el punto de equilibrio con un coche de gasolina comparable (Kelly, 2023).
2. Un reporte de 2021 del Consejo Internacional de Transporte Limpio, un grupo de investigación cuyo objetivo es mejorar la eficiencia energética del transporte, concluyó que las emisiones de la vida útil de un coche eléctrico mediano promedio eran inferiores a las de un coche de gasolina en “un 66% a 69% en Europa, un 60% a 68% en Estados Unidos, un 37% a 45% en China y un 19% a 34% en la India (Pineda y Xie (2021).

3. Un estudio en China estimó que fabricar un coche convencional genera 10,5 toneladas de CO₂, mientras que uno eléctrico produce 13 toneladas. De estas, 3,2 corresponden a la fabricación de la batería. En cuanto al reciclaje, el de un vehículo de combustible fósil produce 1,8 toneladas de CO₂, y 2,4 el de un coche eléctrico, de las cuales 0,7 proceden del reciclaje de las baterías. (Qinyu Qiao, et al., 2017).
4. Un estudio publicado por el gobierno de Reino Unido señala que, durante toda su vida útil, un auto común producirá 24 toneladas de CO₂, mientras que uno eléctrico producirá un promedio de 18 toneladas. Esa cifra implica las emisiones generadas al ensamblarlo, fabricar sus baterías y la misma extracción de las materias primas para fabricar todos sus componentes. O sea, que el 46% de su huella de carbono será generada en la planta, el resto vendrá de las emisiones generadas para producir la energía eléctrica necesaria para cargarlo, teniendo en cuenta que no siempre podrán cargarse con energía obtenida a través de fuentes limpias (Parliament by the Secretary of State for Transport, 2021).

Capítulo 3

CONTEXTO INTERNACIONAL SOBRE INCENTIVOS FISCALES Y SU EFECTIVIDAD

1. CONTEXTO

Los incentivos fiscales para la electromovilidad son herramientas clave que los países utilizan para fomentar la adopción de vehículos eléctricos y reducir las emisiones de carbono. Los países en desarrollo, en particular, están cada vez más interesados en analizar el gasto fiscal y los incentivos a la electromovilidad; sin embargo, su efectividad, el impacto en la recaudación fiscal son temas de creciente debate, así como su alineación con los objetivos nacionales de sostenibilidad y la planificación de la transición energética.

Los incentivos fiscales para la electromovilidad incluyen una variedad de medidas diseñadas para fomentar la adopción de vehículos eléctricos (VE) y el desarrollo de la infraestructura necesaria para su operación. Estos incentivos pueden abarcar según la Agencia Europea de Medio Ambiente [AEMA] (AEMA, 2023):

1. **Deducciones fiscales y depreciación acelerada:** Algunos países permiten que las empresas deduzcan una parte significativa del costo de los vehículos eléctricos de sus impuestos, o que apliquen un método de depreciación acelerada, lo que reduce la carga fiscal a corto plazo.
2. **Incentivos fiscales para la infraestructura de carga:** Los gobiernos ofrecen créditos fiscales o deducciones para las empresas y particulares que invierten en la instalación de estaciones de carga para vehículos eléctricos.
3. **Exenciones fiscales para fomentar la producción y uso de VEs:** En muchos países, los vehículos eléctricos están exentos de ciertos impuestos, como el impuesto al valor agregado (IVA), para hacerlos más competitivos en comparación con los vehículos convencionales.

4. Exenciones de impuestos de circulación, peajes y tarifas de estacionamiento: Los propietarios de vehículos eléctricos pueden estar exentos de pagar impuestos anuales de circulación, peajes en autopistas o tarifas de estacionamiento en ciertas áreas, lo que reduce aún más los costos operativos.

Los países líderes en electromovilidad como como es el caso de varios países europeos han implementado diversas políticas de incentivos fiscales para fomentar la adopción de vehículos eléctricos y tecnologías de cero emisiones. A continuación, a partir de la información ofrecida por Altamirano (2024) en Mobility Portal Europe con información recolectada de las páginas oficiales de cada país y del portal de la Asociación Europea de Fabricantes de Automóviles (ACEA) se presenta un resumen de los incentivos fiscales para la electromovilidad para países europeos.

Alemania, aunque no dispone tampoco de incentivos ni para la infraestructura, ni para la compra de coches, si exime por diez años del impuesto de propiedad a los vehículos eléctricos a batería (BEVs) y los de celda de combustible (FCEVs) registrados hasta el 31 de diciembre de 2025.

Además, los coches que emiten menos de 95g de CO₂ por kilómetro pueden no pagar el impuesto anual de circulación. Por otro lado, a los vehículos de las empresas se les facilita la reducción del importe imponible para BEVs y para los híbridos enchufables (PHEVs) (1-0.5% del precio de catálogo bruto por mes).

En Austria existen beneficios fiscales para la adquisición. Tanto los BEVs como los FCEVs tienen una deducción y exención del IVA. El país exime del impuesto de propiedad a todos los coches de pasajeros y vehículos combinados de cero emisiones. Se aplica un incentivo fiscal que asciende al 15% del precio de compra, y se aplica una depreciación especial.

Además, el país ofrecerá hasta finales de 2024 un bono para la compra de BEVs y FCEVs nuevos para uso privado. Para poder aplicarlo, los coches deberán tener una autonomía eléctrica de más de 60 kilómetros y un precio de lista antes de impuestos de hasta 60 mil euros.

Específicamente para la infraestructura de carga de uso privado el país ofrece, hasta finales de 2024, un bono de entre 600 y 1800 euros, según el tipo de vivienda (unifamiliar, bifamiliar o complejo).

En cuanto a beneficios fiscales para la adquisición, Bruselas y Valonia en Bélgica ofrecen una tasa impositiva mínima de 61.50 euros para BEVs y FCEVs. Con respecto al impuesto a la propiedad, poseen tasas mínimas de 97.68 euros por año.

Con relación a incentivos para la compra, Flandes ofrece una prima de 5,000 euros en 2024 para un coche nuevo de cero emisiones comprado por una persona física, una organización sin fines de lucro o una plataforma de uso compartido de vehículos, con un límite de precio de 40,000 euros incluido el IVA.

Las unidades usadas de al menos tres años de antigüedad y con un precio de lista inferior a 60,000 euros también pueden beneficiarse de esta subvención, con un monto de 3,000 euros.

En cuanto a los incentivos a la infraestructura de carga, algunas municipalidades en Flandes ofrecen subsidios para su instalación. Por ejemplo, en la ciudad de Bruselas se exime a las empresas del impuesto de estacionamiento si el espacio está equipado con un cargador. La instalación de puntos de carga en empresas es deducible al 100%, y al 150% (en 2024) si es accesible al público; y los propietarios privados reciben unas reducciones fiscales al instalar cargadores unidireccionales y bidireccionales.

Dinamarca tiene beneficios fiscales para la adquisición de vehículos de cero emisiones: pago del 40% del impuesto de registro; deducción adicional de corona danesa (DKK) 165,500 en el mismo y de 500 DKK del valor imponible por cada kWh de capacidad de batería. Las unidades de bajas emisiones, estos son los beneficios: pago del 55% del impuesto de registro; deducción adicional de 46,250 DKK en el mismo, y de 500 DKK del valor imponible por cada kWh de capacidad de batería.

Con respecto a los impuestos de propiedad, los coches de cero y bajas emisiones pagan la tasa mínima semestral de 390 DKK.

A pesar de lo anterior Dinamarca no cuenta con incentivos ni a la compra, ni a la infraestructura de carga. Solo para las empre-

sas el valor de un punto de carga proporcionado junto con el vehículo (en la residencia del empleado) no está sujeto a impuestos.

Eslovaquia brinda beneficios fiscales para la adquisición de coches: para los BEVs la tarifa máxima de registro que se debe pagar es de 33 euros y para los PHEVs se aplica una reducción del 50%. En lo que respecta al impuesto de circulación, los primeros están exentos y los híbridos pagan solo el 50%.

Al igual que Dinamarca, Eslovaquia no cuenta con incentivos ni para la compra de unidades, ni para la infraestructura.

En relación con los beneficios fiscales para la adquisición, en España los vehículos que emiten menos de 120 g de CO₂ por kilómetro están exentos del “impuesto especial”. Actualmente se aplica lo siguiente: BEVs, PHEVs, vehículos eléctricos de rango extendido (EREVs, por sus siglas en inglés) y FCEVs para uso privado tienen de una deducción en el Impuesto sobre la Renta de las Personas Físicas (IRPF) del 15% del coste de adquisición (sin impuestos) con un máximo de 3,000 euros. El precio máximo de la unidad debe ser de 45,000 euros (sin impuestos). El costo de instalación de infraestructura en el hogar con una deducción del 15% en el IRPF (máximo 4,000 euros).

Para los coches de empresa con fines privados, se considera una retribución en especie e incluye el cálculo del IRPF: Reducción del 30% para BEVs y PHEVs de menos de 40,000 euros. Reducción del 20% para HEVs de hasta 35,000 euros. En cuanto a incentivos para la compra existe un plan vigente hasta diciembre del 2024.

En Francia se otorgan beneficios fiscales, que consisten en una exención total o del 50% para coches con energía alternativa (BEVs y HEVs). Las unidades de empresa están exentas del componente impositivo basado en CO₂ (“TVS”) para vehículos que emiten menos de 60g CO₂/km (excepto los a diésel). El país, además, brinda incentivos para la compra, que consiste en un bono para un nuevo BEVs o FCEVs. El mismo es de 7,000 euros para hogares de bajos ingresos y de 4,000 para otros.

Similar a Dinamarca, Eslovaquia, Francia no cuenta con beneficios fiscales a la propiedad ni incentivos a la infraestructura.

En Italia, los BEVs no cuentan con beneficios fiscales para la adquisición, pero si están exentos del impuesto de propiedad por cinco años. Después de ese periodo, se aplica una reducción del 75% en el impuesto en comparación con los vehículos de gasolina equivalentes. A los HEVs se les aplica una tarifa plana mínima de 2.58 euros por kilowatt.

En cambio, el país ofrece incentivos para la compra de BEVs que tengan un precio de venta de menos de 35,000 euros más IVA. Los PHEVs con un precio de venta de menos de 45,000 euros más IVA tiene varios incentivos:

En lo referido a la infraestructura, los usuarios tienen de una contribución del 80% del precio de compra e instalación, de hasta 1,500 euros por solicitante.

En los Países Bajos los coches de cero emisiones están exentos de los impuestos de adquisición y de propiedad. Los PHEVs deben abonar un 50% de este último. Los beneficios fiscales para las unidades cero emisiones de empresa incluyen una tasa mínima (16%). El límite es de 30,000 euros para BEVs y sin límite para los propulsados por hidrógeno.

En el país está aprobado un Plan de subsidios (SEPP) para individuos que quieran comprar o alquilar BEVs pequeños o compactos, nuevos o usados. Además, existe una depreciación arbitraria del plan de inversiones ambientales (Vamil) para coches eléctricos de célula de combustible o taxis y coches eléctricos con batería equipados con paneles solares.

En Polonia los BEVs, FCEVs y PHEVs con motor de hasta 2,000 cc, no pagan impuestos para la adquisición. En cuanto al impuesto a la propiedad están aprobados los siguientes beneficios fiscales: se puede depreciar hasta 225,000 złoty polaco (PLN) para BEVs y FCEVs; hasta 150,000 PLN para vehículos que emiten entre 0 y 50 g de CO₂/km; y hasta 100,000 PLN para los que emiten más de 50 g de CO₂/km.

Por otra parte, los individuos y entidades jurídicas tienen incentivos para la compra de 18,750 a 27,000 PLN para BEV y FCEV, con un precio máximo de 225,000. PLN

Este país no ofrece incentivos para la infraestructura de carga.

En Portugal, los BEVs están exentos de impuestos de adquisición, los PHEVs tienen una reducción del 75% y los HEVs del 40%. De igual forma, los BEVs no deben pagar el impuesto de propiedad. Para los coches de empresa, los BEVs están exentos del impuesto sobre la renta corporativa autónoma, mientras que los PHEVs tienen una reducción. Los BEVs pueden acceder a una deducción del IVA del 100% (si cuestan menos de 62,500 euros más IVA), y los PHEV del 100% (si cuestan menos de 50,000 euros más IVA).

Portugal si tiene incentivos para la compra: los usuarios privados pueden acceder a una ayuda de 3,000 euros para comprar un BEV nuevo, con un precio de compra de hasta 62,500 euros.

Suecia por su parte no ofrece beneficios fiscales para la adquisición de coches, pero ejecuta un bajo impuesto de circulación anual de 360 coronas suecas (SEK) para vehículos de cero emisiones y PHEVs.

El uso privado de un coche de empresa se grava como un beneficio: existe una reducción permanente del valor del beneficio (para BEVs y FCEVs es de 350,000 SEK; y para PHEVs de 140,000 SEK).

Está disponible en el país un subsidio «Ladda bilen» para la instalación de carga para residentes en edificios de apartamentos y lugares de trabajo. Esta cubre hasta el 50% de los costos, hasta un máximo de 15,000 SEK por punto de carga.

Por último, en Suiza, los coches sustentables no disponen de beneficios fiscales para la adquisición, pero si varios cantones reducen o eximen el impuesto de circulación durante un determinado período lo que se hace depender del consumo de combustible. Lo mismo aplica para los vehículos de empresa. Vale mencionar que en Suiza no existen incentivos para la compra de coches, pero si varios cantones y municipios contribuyen a los costos de instalación de infraestructura.

Se pueden considerar dos hallazgos esenciales una vez expuesto el tema de los incentivos fiscales a los VEs en Europa.

1. La mayoría de los estados miembros de la UE emplearon incentivos o impuestos basados en las emisiones para orientar las decisiones de compra de automóviles.

2. El número de países que ofrecen incentivos para vehículos eléctricos aumentó considerablemente en el período analizado.

América Latina por su parte presenta un panorama más diverso y en desarrollo, con diferentes niveles de implementación y efectividad de políticas tributarias diferenciadas (Lavalleja y Scalse, 2019), lo que evidencia la necesidad de la coordinación entre gobiernos, industrias y consumidores es esencial para maximizar el impacto de estos incentivos y alcanzar los objetivos de sostenibilidad.

Los principales incentivos adoptados en Argentina, Brasil, Chile, Costa Rica, Colombia, Ecuador, Guatemala, México y Uruguay destinados a promover la compra de vehículos eléctricos, como exenciones de impuestos, descuentos en el impuesto sobre la tenencia vehicular se exponen a continuación (Fonti, 2024).

Argentina actualmente no cuenta con una legislación de electromovilidad, pero es importante mencionar que la Ley de Promoción de la Industria Automotriz dispone de beneficios fiscales como la exención del derecho a la exportación hasta el 31 de diciembre de 2031. El comprador de un vehículo eléctrico en Argentina está exento del pago de matrículas dependiendo del municipio en que se haya registrado el vehículo, ya que está sujeto a normativas locales (Gobierno de la República Argentina, 2021).

En Brasil los vehículos eléctricos están libres del impuesto sobre productos Industrializados (IPI) y del impuesto sobre la circulación de mercancías y servicios (ICMS). Se cuenta con un programa de incentivos fiscales para tecnologías limpias: el programa ofrece incentivos fiscales a las empresas que invierten en tecnologías limpias dentro del país.

Además, desde el 2015 el gobierno impulsó un subsidio de arancel cero para la importación de autos eléctricos. Esta medida ha contribuido para convertir al país en el mayor mercado de América Latina con una flota de 126.504 vehículos eléctricos e híbridos, de los cuales un 40 % fue matriculado en 2022 (Latam Mobility, 2022).

Lamentablemente el Ministerio de Fomento, Industria, Comercio y Servicios (MDIC) de ese país anunció la vuelta del impuesto

de importación a los vehículos eléctricos, híbridos e híbridos enchufables comprados fuera del país. Se establece la reanudación gradual de las tasas a partir de enero y crea cuotas iniciales para las importaciones exentas hasta 2026, cuando la tasa alcanzará el 35%, la misma válida para los vehículos de combustión.

Chile es considerado uno de los países referentes en materia de movilidad eléctrica en la región por ser pionero en la electrificación del transporte público. En el marco de la Ley de Eficiencia Energética, el Ministerio de Energía publicó una resolución que modifica la vida útil normal y la depreciación acelerada de los vehículos eléctricos, híbridos y cero emisiones. De esta manera, la vida útil normal de estos vehículos que anteriormente estaba establecida en 7 años disminuyó a 3 años. La depreciación acelerada que era de 2 años disminuyó a 1 año (Ministerio de Energía, 2021).

En el marco del proyecto de Ley de Almacenamiento de Energía Eléctrica y Electromovilidad proponen una rebaja transitoria en el permiso de circulación de vehículos eléctricos para que su valor sea similar a los vehículos equivalentes. (Gobierno de Chile, 2022)

En relación con los vehículos eléctricos como equipos de almacenamiento, se les permite inyectar energía a la red y ser remunerados, aumentando la rentabilidad de su adquisición.

Costa Rica cuenta, entre sus principales normativas, con una Ley de Incentivos y Promoción para el transporte eléctrico que considera una exoneración de impuestos en un 100% para vehículos eléctricos con un costo hasta los \$30.000 dólares. Los vehículos entre \$30.000 hasta los \$45.000 dólares pagan un 50% del impuesto de ventas, un 75% del selectivo de consumo y no se paga el impuesto sobre el valor aduanero (Gobierno de Costa Rica, 2018).

Además, los vehículos eléctricos no están sujetos a la restricción vehicular de circulación en el área metropolitana y están exentos del pago en parquímetros.

Por último, Marchamo, el impuesto que permite el derecho de circulación en Costa Rica, fue modificado en los últimos meses: A los vehículos eléctricos que ingresaron al país en 2022 o 2023, se les aplicará la reforma de ley, por lo que su exoneración será del

60% y los vehículos que ingresaron a Costa Rica antes del 2022, se les aplicará el porcentaje según el año en el que ingresaron.

En Colombia, uno de los principales beneficios a quienes compran un vehículo eléctrico es que ninguna tarifa de impuestos puede superar el 1% comercial del valor de la compra (Ley 1964 de 2019). Al igual que otros países de Latinoamérica, están exentos de las restricciones a la circulación en todo el territorio nacional y pueden acceder a estacionamientos preferenciales públicos. Esta mediada implica que un 2% del total de las plazas de parqueo deben ser destinadas a vehículos eléctricos. Poseen un descuento del 10% en las primas de los seguros de SOAT y rebajas en las revisiones tecno-mecánicas (Congreso de la República de Colombia, 2019).

Bajo el amparo de la Ley 1964 de 2019, los municipios de Colombia podrán desarrollar incentivos propios, como descuentos sobre matrícula o impuesto vehicular local, tarifas especiales en parqueaderos o exenciones tributarias.

En el caso de Ecuador, los vehículos eléctricos no pagan Impuesto al Valor Agregado (IVA), ICE, ni aranceles. Los autos 100% eléctricos no están sujetos a las restricciones de circulación y no pagan los estacionamientos públicos tarifados. Además, en 2019, la Ley Orgánica de Eficiencia Energética de Ecuador ordenó que todos los vehículos incorporados al sistema de transporte público a partir de 2025 debían ser eléctricos. La ley también introdujo tarifas diferenciadas o preferenciales para vehículos públicos y privados y ordenó a los gobiernos locales incentivar el uso y circulación de VE (Asamblea Nacional de Ecuador, 2019).

En Guatemala se cuenta con una la Ley de Incentivos para la Movilidad Eléctrica que establece: los vehículos de hidrógeno, para todo uso, importado, ensamblado o producido en el país, tiene exención hasta por 10 años del IVA de importación, así como del Iprima (Impuesto de Primera Matrícula); por el IVA local será solo por la primera venta o transferencia de dominio. En los primeros cinco años, la exención es del 100%, y luego va disminuyendo de forma paulatina. En el caso de los vehículos híbridos, la exención es solo para el Iprima, aplicado de la misma forma, con

una disminución gradual del beneficio (Congreso de la República de Guatemala, 2020).

Específicamente, el Impuesto sobre Circulación de Vehículos tendrá exoneración del 100% para las unidades del año en curso, e irá disminuyendo a razón de 20%, según la antigüedad, hasta el modelo del quinto año anterior al año en curso.

Uruguay no cuenta con una estrategia de movilidad eléctrica como tal, pero sí dispone de una serie de estímulos implementados como políticas públicas. Los Decretos 207/012 y 125/017 del Poder Ejecutivo de Uruguay regulan las tasas del Impuesto Específico Interno (IMESI) y establecen beneficios fiscales para vehículos más sostenibles, como los eléctricos e híbridos.

Existe la reducción del Impuesto Específico Interno (IMESI) para híbridos y eléctricos. Los vehículos eléctricos cuentan con IMESI 0% frente al 115% para aquellos a gasoil y los de gasolina entre un 23 a 46%.

Además, algunas categorías de eléctricos pagan tarifas más bajas de la Patente de Rodados (es un impuesto anual que se aplica a los vehículos automotores que circulan en el país). Aquellos cuyo valor de mercado no supera los 100.000 dólares tributan la patente a una tasa del 2,25% del valor promedio de mercado. Los taxis y las motos eléctricas quedan exoneradas al 100%.

Desde septiembre de 2020, la Ley de Promoción de Inversiones (Centro de Información Oficial, 2020, septiembre) otorga beneficios a proyectos que incluyan vehículos utilitarios eléctricos cuya batería tenga una densidad gravimétrica mayor o igual a 100 Wh/kg. Así se contribuye a reducir los costos de inversión en un mínimo del 35% a través de la exoneración del Impuesto a la Renta

El Ministerio de Industrias, Energía y Minería de la República (MIEM) otorga Certificados de Eficiencia Energética. Los vehículos eléctricos se premian más gracias a un beneficio financiero que va de 3 a 30 % de la inversión.

El caso de México será objeto de análisis en el siguiente capítulo del libro, no obstante, hay un reconocimiento de que México ha implementado incentivos más robustos para fomentar la electromovilidad. Recientemente, se han introducido estímulos fiscales que permiten la depreciación acelerada de vehículos eléctricos,

lo que reduce su costo efectivo para los consumidores. Además, el gobierno ha establecido incentivos para la fabricación y exportación de componentes eléctricos, lo que podría estimular la industria local. Estos incentivos son parte de un esfuerzo más amplio para hacer que los vehículos eléctricos sean más accesibles y competitivos en el mercado

La efectividad de los incentivos fiscales a la electromovilidad en América Latina varía considerablemente. Mientras que países como México y Colombia han implementado políticas más integrales y ambiciosas, Argentina presenta un enfoque más limitado que prioriza la producción sobre el consumo. Guatemala, por su parte, ha adoptado un modelo que combina incentivos fiscales con un enfoque en la producción local.

En conclusión, para que la electromovilidad avance significativamente en la región, es crucial que los gobiernos no solo implementen incentivos fiscales, sino que también establezcan metas claras y un marco regulatorio que apoye tanto la producción como la adopción de vehículos eléctricos. Esto no solo contribuirá a la reducción de emisiones, sino que también fomentará el desarrollo de una industria automotriz más sostenible en América Latina.

Capítulo 4

ELECTROMOVILIDAD E INCENTIVOS FISCALES EN MÉXICO

1. ELECTROMOVILIDAD EN MÉXICO. IMPORTANCIA Y ESTADO ACTUAL

México ha participado en varios acuerdos internacionales que apoyan la electromovilidad, lo que refleja su intención con el desarrollo sostenible y la reducción de emisiones. Los principales acuerdos adoptados por el país son:

1.1. Acuerdo de París (2015)

El Acuerdo de París es un tratado internacional adoptado en 2015 bajo la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). México, como parte del Acuerdo de París, se comprometió a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en un 22% para el año 2030.

En su contribución determinada a nivel nacional (NDC), basada en la Ley General de Cambio Climático (LGCC, 2012) y alineada con los objetivos globales establecidos en CMNUCC, actualizada en 2022, México se comprometió a una reducción del 35% de sus emisiones GEI para el 2030, un incremento significativo del 22% del acuerdo de París (Gobierno de México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, & Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2022).

En relación con el transporte, el país planteó el compromiso de que para el año 2030 se contribuirá sólo 3.5% gracias a la penetración creciente de vehículos híbridos y eléctricos, además de reducir 4% las contribuciones a través de una serie de acciones relacionadas con la implementación de trenes interurbanos de pasajeros (INECC, 2017). Las acciones específicas previstas en ese momento fueron:

- i. Trenes interurbanos de pasajeros: Viajarán de la CDMX a Querétaro (210 km) y de la CDMX a la Ciudad de Toluca (57 km). Esta acción traerá además una reducción de 1.9 MtCO₂ eq,
- ii. Incorporación tecnológica: la introducción de vehículos híbridos y eléctricos iniciará con mayor fuerza en 2020 hasta alcanzar 20% de las ventas de vehículos ligeros nuevos en 2030. Esta acción traerá una reducción de emisiones de 1.7 MtCO₂ eq¹

1.2. Acuerdo de Katowice (2018)

El Acuerdo de Katowice, formalmente conocido como el resultado de la COP24 (Conferencia de las Partes 24), se llevó a cabo del 2 al 14 de diciembre de 2018 en Katowice, Polonia. Este acuerdo es un conjunto de decisiones que establece las reglas para la implementación del Acuerdo de París, el cual busca limitar el calentamiento global a menos de 2 °C, y preferiblemente a 1.5 °C, en comparación con los niveles preindustriales.

En esta conferencia México reafirmó su compromiso de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y destacó la importancia de la movilidad eléctrica como parte de su estrategia para alcanzar los objetivos climáticos establecidos.

1.3. Declaración de Glasgow (2021)

México se adhirió a la Declaración de Glasgow sobre la Electromovilidad durante la COP26, que se llevó a cabo del 31 de octubre al 12 de noviembre de 2021 en Glasgow, Escocia. Esta declaración busca acelerar la transición hacia vehículos de emisiones cero y está alineada con los esfuerzos globales para reducir las emisio-

1 (MtCO₂e es una medida métrica que permite comparar las emisiones de diversos gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), convirtiendo las cantidades de otros gases al equivalente en toneladas de CO₂ con el mismo potencial de calentamiento global.

nes de GEI y combatir el cambio climático. La adhesión de México a esta declaración refleja su compromiso con la electromovilidad y la sostenibilidad en el sector transporte.

1.4. Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP27) en Egipto

En la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP27) México se presentó con una ruta crítica para cumplir el incremento prometido del 22% al 35% en sus CND. México también prometió que aumentará su objetivo de Reducción Condicionada de las emisiones al 40% desde el anterior 36%, una meta no solo depende de acciones nacionales sino del apoyo externo (Badillo, 2022).

1.5. Tratados de Libre Comercio

México cuenta con una red de 14 tratados de libre comercio que facilitan el comercio de tecnologías relacionadas con la electromovilidad. La transición a la electromovilidad en México está íntimamente relacionada con los Tratados de Libre Comercio, que ofrecen oportunidades para facilitar el comercio, atraer inversiones y fomentar la innovación.

Los tratados de libre comercio, como el **T-MEC** (Tratado entre México, Estados Unidos y Canadá), son fundamentales para la industria automotriz mexicana, ya que permiten el acceso a mercados clave y la integración de cadenas de suministro. Esto es especialmente relevante en el contexto de la electromovilidad, donde la colaboración con países como Estados Unidos y Canadá puede impulsar la producción y el desarrollo de tecnologías limpias.

1.6. Iniciativas de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)

La CEPAL ha promovido iniciativas para apoyar la electrificación del transporte en México, enfocándose en la inversión en infraestructura y tecnologías limpias. Estas iniciativas buscan me-

jorar la calidad del aire y reducir la dependencia de combustibles fósiles (Carrillo et al., 2020)

A nivel nacional México ha firmado varios acuerdos y estrategias que respaldan su transición hacia la electromovilidad, un enfoque que busca reducir las emisiones contaminantes y promover un transporte más sostenible. A continuación, se detallan algunos de los acuerdos más relevantes:

La Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica con visión hasta el 2023, presentada en el 2018 por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), establece un marco para fomentar el uso de vehículos eléctricos e híbridos. Esta estrategia se enmarca en un contexto donde el sector del transporte es responsable de una parte significativa de las emisiones de dióxido de carbono en el país (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2018). La estrategia incluye varias acciones, tales como:

1. Promover la adopción de la electromovilidad.
2. Desarrollar una industria nacional de autobuses eléctricos y equipos de carga.
3. Establecer metas y parámetros para reducir el impacto ambiental del transporte urbano

Se adiciona el Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN) 2019-2033 (Secretaría de Energía, 2019) que contiene el Escenario de Transición Energética Soberana (TES). El PRODESEN incluye en su contenido los objetivos establecidos por la Estrategia Nacional de Movilidad, disminuir la contaminación generada por vehículos de combustión interna, alcanzar determinadas metas de reducción de emisiones, utilizar estratégicamente los medios de movilidad eléctrica ya existentes e impulsar más esquemas de movilidad inteligente (Carrillo et al., 2020)

De forma particular la Estrategia de Electromovilidad de la Ciudad de México 2018-2030 (Secretaría de Movilidad de la Ciudad de México, 2018), se enfoca en la transición hacia un sistema de transporte más sustentable. Esta estrategia incluye compromisos específicos para la reducción de emisiones y el desarrollo de infraestructura para vehículos eléctricos. Se busca fomentar el uso de energías alternativas y tecnologías limpias, así como la

creación de una flota de vehículos eléctricos en la ciudad (Carrillo et al., 2020)

Además de las estrategias mencionadas, México ha implementado acuerdos adicionales que apoyan la transición a la electromovilidad, incluyendo:

1. “Acuerdo para la actualización de la Estrategia de Transición” en México se encuentra en el documento de la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE, 2016), que detalla la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios. Esta estrategia incluye la revisión y actualización de políticas para facilitar la transición hacia tecnologías más limpias, lo cual es fundamental para abordar el cambio climático y fomentar la electromovilidad en el país.
2. Colaboración interinstitucional: Se han establecido mecanismos de coordinación entre diversas secretarías y organismos para impulsar el desarrollo de la electromovilidad, incluyendo la vinculación con universidades y el sector privado para fomentar la investigación y manufactura de tecnologías relacionadas

Aunque México ha demostrado liderazgo en el ámbito internacional al presentar metas ambiciosas de reducción de emisiones y adaptación, la insuficiente implementación de políticas y acciones concretas a nivel nacional ha limitado su capacidad de respuesta efectiva al cambio climático hasta el momento. Para cumplir con sus compromisos internacionales, se necesita acelerar la implementación de medidas de mitigación y adaptación, asegurar el financiamiento adecuado y fortalecer la coordinación entre los diferentes actores involucrados.

2. INCENTIVOS FISCALES EN MÉXICO Y EL TRÁNSITO HACIA LA ELECTROMOVILIDAD

Las políticas gubernamentales en México han promovido la movilidad eléctrica, en particular aquellas que incluyen incentivos fiscales para favorecer el uso de tecnologías que disminuyan

la contaminación del aire y los efectos en el cambio climático. A tal efecto, el país cuenta con una estrategia nacional para los incentivos fiscales a la electromovilidad amparada en un amplio marco regulatorio.

2.1. Avances regulatorios ante el tránsito a la electromovilidad

En México, la electromovilidad ha ganado relevancia en los últimos años, impulsada por compromisos internacionales y la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Los avances regulatorios en este ámbito reflejan un enfoque integral que incluye incentivos fiscales, normatividad ambiental, y planes estratégicos a nivel federal y local. A continuación, se detallan algunos de los principales avances (Cuadro 2).

Cuadro 2. Avances regulatorios ante el tránsito a la electromovilidad

Normativa	Disposición	Aspecto abordado
Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos	Artículo 4º, penúltimo párrafo	Derecho a la movilidad: Toda persona tiene derecho a la movilidad en condiciones de seguridad vial, accesibilidad, eficiencia, sostenibilidad, calidad, inclusión e igualdad.
	73, fracción XXIX-C	Facultad del congreso para expedir las leyes concurrentes de los tres niveles de gobierno en materia de movilidad y seguridad vial.
	Art. 115, fracción V	Es facultad concurrente de los tres niveles de gobierno en materia ambiental, la evaluación del impacto ambiental de la industria eléctrica
Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente	Artículo 11	Es facultad concurrente de los tres niveles de gobierno en materia ambiental, la evaluación del impacto ambiental de la industria eléctrica.
	Artículos 5º, 7º, 8º, 11, 110 y 111	Es facultad concurrente, en los tres niveles de gobierno la prevención y control de la contaminación atmosférica.
Ley General de Cambio Climático	Artículo 34, fracción II	Los Estados y Municipios promoverán el diseño e implementación de sistemas de transporte público integrales, y programas de movilidad sustentable en las zonas urbanas o conurbadas para disminuir los tiempos de traslado, el uso de automóviles particulares, los costos de transporte, el consumo energético, la incidencia de enfermedades respiratorias y aumentar la competitividad de la economía regional.

Ley de Transición Energética	Artículo 14, fracción XXIV	Corresponde a la Secretaría de Energía brindar asesoría y apoyo técnico a las entidades y municipios en el diseño e implementación de proyectos relacionadas con la eficiencia energética y las energías limpias; específicamente, para diseñar mejoras en el transporte.
	Artículo 36	El PRONASE debe promover la reducción de emisiones contaminantes a través de la Eficiencia Energética y la sustitución de combustibles en el uso de transporte individual que utilice hidrocarburos; así como establecer una estrategia para la reducción de la intensidad energética global nacional del transporte de personas y mercancías, con metas indicativas para cada año.
	Artículo 38	El Programa de Redes Eléctricas Inteligentes deben instrumentar estrategias y acciones para la identificación y utilización de capacidad de generación eléctrica subutilizada para la sustitución de combustibles fósiles por energía eléctrica en los sistemas de transporte, incluyendo la recarga de vehículos eléctricos.
Ley de la Industria Eléctrica	Artículo 1º	Promueve el desarrollo sustentable de la industria eléctrica y garantizar su operación continua, eficiente y segura en beneficio de los usuarios, así como el cumplimiento de las obligaciones de servicio público y universal, de energías limpias y de reducción de emisiones contaminantes.

Fuente: Cámara de Diputados H. Congreso de la Unión (2012, 2014, 2015, 2020, 2024).

El tránsito hacia la electromovilidad está alineado con la política pública del país que se contiene en sus principales planes y programas.

1. Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2019-2024: El PND incluye metas relacionadas con el desarrollo sostenible y la transición hacia una economía de bajas emisiones, dentro de las cuales la electromovilidad es un componente clave.
2. Planes y programas en materia de electromovilidad 2019-2024.
3. Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2021-2035.
4. Programa Especial de Cambio Climático (PECC) 2020-2024: Este programa establece metas y acciones para reducir las emisiones de GEI, entre ellas la promoción de la electromovilidad. Se plantea la meta de aumentar la par-

ticipación de vehículos eléctricos en el parque vehicular y mejorar la infraestructura de carga.

5. Programa Sectorial de Comunicaciones y Transportes 2020-2024.
6. Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2020-2025
7. Programa Sectorial de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano 2020-2024
8. Programa Sectorial de Energía 2020-2024
9. Programa sectorial de desarrollo agrario, territorial y urbano 2020-2024

Programas adicionales para respaldar la electromovilidad (Secretaría de Energía, 2022):

1. Fondo para la transición energética y el aprovechamiento sustentable de la energía (FOTEASE) es un instrumento de política pública de la Secretaría de Energía de México cuyo objetivo es implementar acciones para contribuir al cumplimiento de la Estrategia nacional para la transición energética y el aprovechamiento sustentable de la energía.
2. Dentro del FOTEASE se encuentra el Programa de ahorro de energía del sector eléctrico (PAESE). que tiene como propósito promover y difundir medidas para la eficiencia energética y el ahorro de energía en el sector eléctrico mexicano.

En México, las Normas Oficiales Mexicanas (NOMs) relacionadas con la electromovilidad regulan aspectos como la eficiencia energética, las emisiones vehiculares y la infraestructura de carga para vehículos eléctricos. Estas normas son fundamentales para garantizar la seguridad, eficiencia y sostenibilidad del desarrollo de la electromovilidad en el país. En el cuadro 3 se detallan algunas de las principales NOMs vinculadas con la electromovilidad:

Cuadro 3. Normas Oficiales Mexicanas (NOMs) relacionadas con la electromovilidad

Norma	Título	Relevancia
<p>NOM-163-SEMAR-NAT-ENER-SCFI-2013 Diario Oficial de la Federación (DOF). DOF – NOM-163-SEMAR-NAT-ENER-SCFI-2013</p>	Emisiones de dióxido de carbono (CO ₂) de vehículos automotores nuevos con peso bruto vehicular de hasta 3,857 kg y su eficiencia en el consumo de combustible.	Establece los límites máximos de emisión de CO ₂ y los requisitos de eficiencia energética para vehículos ligeros, lo que incluye a los vehículos híbridos y eléctricos. Es un estándar clave para promover la adopción de tecnologías más limpias en el transporte.
<p>NOM-044-SEMAR-NAT-2017 Diario Oficial de la Federación (DOF). DOF – NOM-044-SEMAR-NAT-2017</p>	Emisiones de motores que usan diésel como combustible. Límites máximos permisibles de emisión de partículas sólidas, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y monóxido de carbono.	Aunque se centra en motores diésel, la NOM-044 fomenta la transición hacia vehículos de bajas emisiones, incluyendo eléctricos, como una alternativa para cumplir con normativas más estrictas de emisión.
<p>NOM-001-SEDE-2012 Diario Oficial de la Federación (DOF). DOF – NOM-001-SEDE-2012</p>	Instalaciones eléctricas (utilización).	Regula las instalaciones eléctricas en general, incluyendo las que se utilizan para la infraestructura de carga de vehículos eléctricos. Asegura que las estaciones de carga sean seguras y eficientes.
<p>NOM-197-SEMAR-NAT-2016 Diario Oficial de la Federación (DOF). DOF – NOM-197-SEMAR-NAT-2016</p>	Límites máximos permisibles de emisiones contaminantes en vehículos automotores en circulación que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural u otros combustibles alternos.	Aunque es más específica para vehículos con combustibles tradicionales, la NOM fomenta la transición a vehículos eléctricos al establecer límites estrictos de emisiones que los vehículos convencionales deben cumplir.

Norma	Título	Relevancia
<p>NOM-EM-003-ASEA-2017 Diario Oficial de la Federación (DOF). DOF – NOM-EM-003-ASEA-2017</p>	<p>Especificaciones técnicas y criterios de seguridad industrial y operativa para el diseño, construcción, pre-arranque, operación, mantenimiento, cierre y desmantelamiento de estaciones de servicio de carga para vehículos eléctricos.</p>	<p>Esta norma emergente se centra en la seguridad y eficiencia de las estaciones de carga de vehículos eléctricos, un componente clave para la infraestructura de la electromovilidad.</p>
<p>NOM-EM-005-ASEA-2018 Diario Oficial de la Federación (DOF). DOF – NOM-EM-005-ASEA-2018</p>	<p>Requisitos mínimos de seguridad industrial, operativa y de protección al medio ambiente para la regulación del diseño, construcción, operación y mantenimiento de estaciones de servicio para el expendio de gas natural comprimido, gas natural licuado y estaciones de carga eléctrica para vehículos automotores.</p>	<p>Regula la seguridad en la operación de estaciones de carga eléctrica, estableciendo un marco normativo para la infraestructura que soporta la electromovilidad.</p>
<p>NOM-008-SCFI-2002 Diario Oficial de la Federación (DOF). DOF – NOM-008-SCFI-2002</p>	<p>Sistema general de unidades de medida.</p>	<p>Aunque es una norma más general, establece las unidades de medida que deben utilizarse en la infraestructura de carga, como los kWh, asegurando uniformidad en la información que se proporciona a los usuarios de vehículos eléctricos.</p>

Fuente: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2013, 2016, 2017); Secretaría de Economía (2012, 2022); Agencia de Seguridad, Energía y Ambiente (2017, 2018).

Estas NOMs reflejan un esfuerzo continuo por parte del gobierno mexicano para establecer un marco regulatorio que faci-

lite la adopción de la electromovilidad, con propósitos de garantizar tanto la seguridad como la sostenibilidad de los sistemas de transporte eléctricos. La actualización y la implementación efectiva de estas normas serán esenciales para el éxito de la transición hacia un transporte más limpio en el país.

2.2. Estrategia nacional para los incentivos fiscales a la electromovilidad

En México, se están implementando varios incentivos fiscales para fomentar la electromovilidad con el objetivo de reducir la contaminación y promover el uso de vehículos eléctricos. En el cuadro 4, se presentan los incentivos fiscales a la electromovilidad.

Cuadro 4. Incentivos fiscales a la electromovilidad

Normativa	Disposición	Beneficios
Código Fiscal de la Federación (CFF)	Artículo 31, Fracción I	Se agregó una disposición que permite la deducción inmediata de inversiones en vehículos eléctricos y en infraestructura relacionada (como estaciones de carga). Esto permite a las empresas recuperar el costo de estas inversiones de manera más rápida en términos fiscales.
Ley del Impuesto sobre Automóviles Nuevos	Artículo. 8, Fracción IV	Exención del Impuesto sobre Automóviles Nuevos (ISAN) a vehículos eléctricos e híbridos. Los vehículos eléctricos e híbridos están exentos del ISAN. Este impuesto normalmente se aplica a la venta de automóviles nuevos en México y su monto depende del precio del vehículo. La exención del ISAN reduce el costo inicial de adquisición de vehículos eléctricos e híbridos.

Normativa	Disposición	Beneficios
Ley del Impuesto sobre la Renta	Artículo 36, Fracción II	<p>Deducibilidad del Impuesto Sobre la Renta (ISR) de la inversión en autos verdes, más amplia que lo permitido para vehículos convencionales. Las empresas que adquieran vehículos eléctricos pueden deducir de manera inmediata el costo de estos vehículos de su base imponible del ISR. Esto permite que las empresas recuperen una parte significativa de la inversión en el año de la adquisición, incentivando la renovación de flotas con vehículos eléctricos.</p> <p>Límite de deducción: En el caso de vehículos eléctricos, el límite de deducción es superior al de los vehículos a gasolina, siendo de hasta \$250,000 MXN.</p>
	Artículo 34, Fracción XIII	Deducción del 100% y en un solo ejercicio de la inversión en equipo para la generación de energía proveniente de fuentes renovables
	Artículo 204	Estímulo para la inversión en estaciones de recarga de vehículos eléctricos. Se otorga un estímulo fiscal a los contribuyentes del impuesto sobre la renta, consistente en aplicar un crédito fiscal equivalente al 30% del monto de las inversiones que en el ejercicio fiscal de que se trate, realicen en equipos de alimentación para vehículos eléctricos, siempre que éstos se encuentren conectados y sujetos de manera fija en lugares públicos, contra el impuesto sobre la renta que tengan a su cargo en el ejercicio en el que se determine el crédito. El crédito fiscal no será acumulable para efectos del impuesto sobre la renta

Normativa	Disposición	Beneficios
Ley del Impuesto sobre la Renta	Artículo 34, Fracción XIV	Deducción de hasta 25% de las inversiones en bicicletas convencionales, bicicletas y motocicletas cuya propulsión sea a través de baterías eléctricas recargables
	Artículo 28, Fracción XIII	Deducción de hasta 285 pesos diarios por automóvil por el uso o goce temporal de autos cuya propulsión sea a través de baterías eléctricas recargables, así como por automóviles eléctricos que además cuenten con motor de combustión interna o con motor accionado por hidrógeno.
	Artículo 39, Fracción III	Se permite la deducción inmediata del 100% del costo de la infraestructura de carga instalada para vehículos eléctricos.
Ley del Impuesto al Valor Agregado (LIVA)	Artículo 2-A, Fracción VI	Se introduce una exención del IVA en la venta de vehículos eléctricos nuevos.
	Artículo 5, Fracción IV	Se incluye un crédito fiscal aplicable a la adquisición de vehículos eléctricos, permitiendo que el IVA pagado en la compra de estos vehículos pueda ser acreditado contra otras obligaciones fiscales.
Ley de Caminos, Puentes y Autotransporte Federal (LCPAF)	Artículo 16, Fracción IV	Se otorgan descuentos de hasta el 50% en peajes para vehículos eléctricos en autopistas y puentes federales.
	Artículo 19, Fracción II	Establece la obligación de que nuevas estaciones de servicio en carreteras federales incluyan infraestructura de carga para vehículos eléctricos.

Normativa	Disposición	Beneficios
DECRETO por el que se modifica la Tarifa de la Ley de los Impuestos Generales de Importación y de Exportación	Fracciones arancelarias de vehículos eléctricos	Creación de dos fracciones arancelarias para identificar a los vehículos automóviles eléctricos nuevos para el transporte de diez o más personas y los vehículos automóviles eléctricos ligeros usados, respectivamente, así como modificación de la descripción de tres fracciones arancelarias y exentar temporalmente (Septiembre 2024) el arancel de importación de tres fracciones arancelarias relativas a los vehículos automóviles eléctricos nuevos para el transporte de diez o más personas, los vehículos automóviles eléctricos ligeros nuevos y los vehículos automóviles eléctricos nuevos para el transporte de mercancías.

Fuente: Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión (2018, 2021a, 2021b, 2021c, 2023, 2024); Diario Oficial de la Federación (DOF). (2019).

Hay que destacar que el Decreto de Reforma de 2019 en relación con el CFF, LISR, LIVA, LCPAF, y LGCC (Diario Oficial de la Federación, 2019), incluye una serie de disposiciones clave para promover el uso de vehículos eléctricos en México. Estas reformas están diseñadas para reducir tanto el costo de adquisición como el costo operativo de los vehículos eléctricos, a través de deducciones fiscales, exenciones de impuestos, y otros incentivos financieros, apoyando la transición hacia un transporte más sostenible en el país.

En particular, el Decreto por el que se modifica la Tarifa de la Ley de los Impuestos Generales de Importación y de Exportación (Diario Oficial de la Federación (DOF, 2020) es una disposición oficial que establece cambios en los aranceles aplicables a ciertos productos al ser importados o exportados en México. Este decreto es clave para promover la electromovilidad, ya que incluye incentivos fiscales específicos relacionados con la importación de vehículos eléctricos y sus componentes.

Detalles de los incentivos fiscales en el Decreto

A. Reducción de aranceles para VEs

El decreto establece reducciones o exenciones arancelarias para la importación de vehículos eléctricos. Esto significa que las empresas y personas que importen vehículos eléctricos a México pueden hacerlo pagando menos impuestos de importación, lo que reduce el costo total de los vehículos eléctricos en el país.

Objetivo: Fomentar la entrada de vehículos eléctricos al mercado mexicano, haciéndolos más competitivos frente a los vehículos de combustión interna tradicionales.

B. Exención de aranceles para componentes de los VEs

Además de los vehículos completos, el decreto también contempla la exención o reducción de aranceles para la importación de componentes específicos utilizados en la fabricación de vehículos eléctricos. Esto incluye baterías, motores eléctricos, y otros componentes clave.

Objetivo: Apoyar a la industria local en la producción de VEs, al facilitar el acceso a piezas y tecnología avanzada a un menor costo.

C. Incentivos para la infraestructura de carga

El decreto también puede incluir disposiciones que faciliten la importación de equipos para la infraestructura de carga, como estaciones de carga para vehículos eléctricos. Esto es crucial para el desarrollo de una red de recarga adecuada a nivel nacional.

Objetivo: Reducir los costos de instalación y operación de la infraestructura de carga, lo que a su vez incentiva a las empresas a expandir estas redes y facilita la adopción de vehículos eléctricos.

D. Estímulos a la industria nacional

Para fortalecer la industria automotriz nacional en el ámbito de la electromovilidad, el decreto podría establecer estímulos adicionales para la importación de maquinaria y tecnología necesarias para la producción de vehículos eléctricos en México.

Objetivo: Fomentar la inversión en la producción local de vehículos eléctricos y componentes, lo que puede generar empleo y desarrollo tecnológico en el país.

3. OTROS INCENTIVOS ESTATALES

1. Exención o reducción del impuesto sobre la tenencia vehicular:

En varios estados, los vehículos híbridos y eléctricos están exentos del pago de la tenencia vehicular, o reciben una reducción significativa en este impuesto.

En la Ciudad de México, los vehículos eléctricos están exentos de la tenencia vehicular (Autofact, 2024).

2. Exención del Programa Hoy No Circula:

Los vehículos eléctricos e híbridos pueden estar exentos de las restricciones de circulación del programa “Hoy No Circula” en la Ciudad de México y otros estados con programas similares (Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México, n.d.).

3. Deducción acelerada para empresas:

Algunos estados y municipios ofrecen subsidios adicionales o apoyos financieros para la adquisición de vehículos eléctricos e híbridos.

Ejemplo: El estado de Jalisco ha implementado programas de incentivos para vehículos eléctricos (Gobierno del Estado de Jalisco, 2022).

Además de los incentivos fiscales, La Banca de Desarrollo y Comercial también establece fondos para el tránsito hacia la electromovilidad en México.

- I. Programa NAFIN – KfW: Fondo de Sustentabilidad, apoyo de 100 MEUR en Financiamiento y 13 M EUR bono para la migración hacia vehículos eléctricos (Nacional Financiera (NAFIN), & KfW., 2021).
- II. Banobras – FONADIN: Analiza la posibilidad de incluir el financiamiento a infraestructura y vehículos eléctricos con tasas y condiciones preferenciales (Banobras, 2022).
- III. BBVA – Bono Verde: Incentivos para la compra de vehículos eléctricos particulares, con tasas y condiciones preferenciales (BBVA, 2023).

4. LOS INCENTIVOS FISCALES EN EL CONTEXTO DE NEARSHORING

El nearshoring es una estrategia de externalización que implica trasladar operaciones comerciales a un país cercano, en lugar de hacerlo a lugares lejanos, como es común en el offshoring. Esta práctica ha cobrado relevancia en los últimos años, ya que las empresas buscan acortar distancias y simplificar sus cadenas de suministro al mover sus operaciones más cerca de mercados clave, como Estados Unidos.

La adopción del nearshoring permite a las empresas beneficiarse de la proximidad geográfica, lo que facilita la comunicación, reduce los tiempos de entrega y minimiza costos de transporte. Además, al estar en zonas horarias similares, las empresas pueden responder más rápidamente a las demandas del mercado y adaptarse a cambios inesperados. Se trata de una solución efectiva para optimizar operaciones y mejorar la resiliencia de las cadenas de suministro, especialmente en un contexto global que exige mayor flexibilidad y eficiencia.

Con un impacto en la transición hacia la electromovilidad, el decreto emitido por la Secretaría de gobernación en el Diario Oficial de la Federación establece incentivos fiscales destinados a atraer empresas en el contexto del nearshoring (Secretaría de Gobernación, 2023).

Este decreto permite deducciones de impuestos que van del 56% al 89% en inversiones realizadas durante 2023 y 2024. Los incentivos previstos están diseñados para compañías que se dediquen tanto a la producción como a la exportación en diez sectores clave, incluyendo la industria automotriz, especialmente en el ámbito de la electromovilidad.

Entre los sectores clave que se beneficiarán de estos incentivos se encuentran la industria farmacéutica, la de dispositivos médicos, la fabricación de baterías, los componentes electrónicos, la agroindustria y la industria automotriz enfocada en la electromovilidad. En este contexto, la Secretaría de Hacienda permitirá una deducción del 86% en las inversiones realizadas para automóviles, autobuses, camiones de carga, tractocamiones, monta-

cargas y remolques que utilicen propulsión a través de baterías eléctricas recargables, motores eléctricos, o que cuenten con un motor de combustión interna o uno accionado por hidrógeno.

Por añadidura, estos incentivos están disponibles en todos los estados y municipios del país, lo que amplía las oportunidades en aspectos relacionados con la transición hacia la electromovilidad.

Capítulo 5

EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE LOS INCENTIVOS FISCALES EN MÉXICO

La medición del éxito de los incentivos fiscales en la electromovilidad se puede abordar a través de metodologías de evaluación del impacto de los incentivos fiscales adaptadas a la adopción de vehículos eléctricos. De forma particular se emplean los indicadores propuestos en los estudios de Global EV Outlook de la Agencia Internacional de Energía (IEA), Study on the Economics of Electric Vehicle Adoption (Coffman, Bernstein, & Wee, 2017), Transition to Electric Vehicles: The Role of Policy and Infrastructure (Li, Yi, & Williams, 2020), Understanding the Electric Vehicle Adoption in Urban Environments (Sierzchula et al., 2014).

A continuación, se presentan los principales indicadores presentes en dichos estudios con el propósito de evaluar la efectividad de los incentivos fiscales en el contexto de México.

Indicadores de adopción de vehículos eléctricos: ventas anuales de vehículos eléctricos, participación de mercado de vehículos eléctricos (calculado a partir de las ventas de VEs y el total de ventas de vehículos) y la tasa de crecimiento anual en la adopción de VEs que permite medir la aceleración o desaceleración en la adopción.

Indicadores de infraestructura de carga: número de estaciones de carga públicas instaladas, potencia total instalada en estaciones de carga (Mide la capacidad de carga disponible) y la relación de estaciones de carga por cada 1,000 VEs que es un indicador de madurez de la infraestructura.

Indicadores de análisis costo-beneficio: reducción de emisiones de CO₂ calculado a partir de las emisiones evitadas por el uso de VEs en lugar de vehículos convencionales, y mejora en la calidad del aire (Medido por la reducción en concentraciones de

contaminantes como PM_{2.5} y NO_x. Datos de la Red de Monitoreo Atmosférico de la CDMX)

Indicadores económicos: inversión en la industria de VEs (monto de inversión atraída por los incentivos fiscales), empleos generados en el sector y ahorro en costos de combustible y mantenimiento (calculado a partir de los ahorros por el uso de VEs).

Estos indicadores, combinados con un análisis cualitativo de las políticas implementadas, permiten evaluar de manera integral la efectividad de los incentivos fiscales a la electromovilidad en México. Las fuentes de información incluyen registros administrativos, datos de la industria y estudios especializados.

1. INDICADORES DE ADOPCIÓN

La efectividad de los incentivos fiscales se puede medir a través de indicadores clave, como número de vehículos eléctricos vendidos e infraestructura de recarga.

1. Número de vehículos eléctricos vendidos: un aumento en las ventas de vehículos eléctricos tras la implementación de incentivos fiscales es un indicador directo de su implementación.

En la tabla 1 se presenta la producción de vehículos particulares (ligeros) como parte de la transición a la electromovilidad en México en el periodo 2016-2024.

Tabla 1. Vehículos totales y venta de vehículos híbridos y eléctricos en México, período 2016-2024

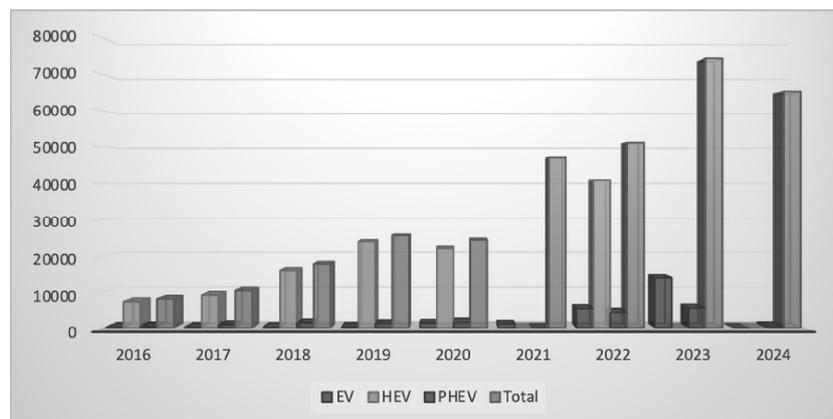
Año	Eléctricos (EV)	Híbridos (HEV)	Híbridos enchufables (PHEV)	Total eléctricos	Total vendidos	Porcentaje VEs respecto al total
2016	254	7,490	521	8,265	1 607 165	0.51
2017	237	9,349	968	10,554	1 534 827	0.68
2018	201	16,022	1,584	17,807	1 426 926	1.24

Año	Eléctricos (EV)	Híbridos (HEV)	Híbridos enchufables (PHEV)	Total eléctricos	Total vendidos	Porcentaje VEs respecto al total
2019	305	23,964	1,339	25,608	1 317 727	1.94
2020	1,449	22,139	1,817	24,405	949 353	2.57
2021	1,140	42, 447	3, 492	47,079	1014680	4.53
2022	5,631	40,859	4,575	51,065	1104789	4.62
2023	14,045	53, 857	5,778	74,318	1361433	5.45
2024	2 939	7 592	643	65,232	124 761	5.22

Nota. Las cifras del 2016 hasta 2023 fueron obtenidos de Statista Research Department (2024) y de INEGI. Venta de vehículos híbridos y eléctricos por entidad federativa. https://www.inegi.org.mx/app/tabulados/interactivos/?px=RAIAVL_11&bd=RAIAVL. INEGI. Venta al público y producción de vehículos ligeros por marca, modelo, segmento y país origen https://www.inegi.org.mx/app/tabulados/interactivos/?px=RAIAVL_8_9&bd=RAIAVL (2005-2024). Los datos del 2024 son con cierre de julio.

A partir de los datos obtenidos de la tabla 1 se presenta el gráfico 2 que ilustra la venta de VEs en México.

Gráfico 2. Venta de vehículos híbridos y eléctricos, periodo 2016-2024



El gráfico muestra una tendencia creciente en la venta de vehículos híbridos y eléctricos, periodo 2016-2024. En el 2023 se comercializaron 74.318 vehículos eléctricos e híbridos en México, lo que marca un aumento del 45,5% en comparación con el volumen de ventas registrado en 2022. En el 2024 se debe sobrepasar significativamente la cifra de 2023 porque las cifras solo corresponden al primer semestre del año.

Una particularidad es que, si bien los automóviles híbridos regulares siguen siendo los más vendidos, los vehículos totalmente eléctricos son aquellos con el mayor aumento en sus ventas. En el año 2023 se registra un incremento del 149% respecto al año previo.

Es evidente que hay un crecimiento de este indicador de efectividad de los incentivos fiscales; sin embargo en un Boletín emitido en 2023 por el Instituto de Recursos Mundiales México (WRI México, por sus siglas en inglés) se señala que es lenta la dinámica de crecimiento de vehículos ligeros eléctricos y que los problemas con los instrumentos financieros para proyectos de infraestructura de recarga y el desconocimiento de programas internacionales de fondeo, son factores que frenan la transición hacia la electromovilidad en el país (WRI, 2023).

En resumen, según los datos disponibles, la participación de los vehículos 100% eléctricos en el mercado automotor mexicano ha sido limitada en los últimos años:

Entre 2016 y 2020, los VEs representaron aproximadamente el 1% de las ventas totales de vehículos en México (de los Santos, 2024). Sin embargo, en los últimos dos años del periodo analizado (2021-2022), se observó un ligero incremento en la cuota de mercado de los eléctricos, alcanzando alrededor del 5% de las ventas totales.

Aunque la adopción de vehículos eléctricos en México ha sido más lenta en comparación con otros países, las ventas han comenzado a crecer gradualmente en los últimos años, pero no de forma significativa.

La relación entre número de vehículos eléctricos vendidos y los incentivos fiscales a los VEs no es nítida. Es posible que los incentivos implementados hasta el momento sean insuficientes

para alentar al consumidor a adquirir este tipo de vehículos, sobre todo cuando el costo de entrada es elevado para el promedio de ingresos de la población mexicana (Michelena, 2023).

2. INFRAESTRUCTURA DE RECARGA: LA CANTIDAD DE ESTACIONES DE CARGA INSTALADAS ES OTRO INDICADOR CRÍTICO

La expansión de la infraestructura de carga es fundamental para facilitar el uso diario de los VEs y asegurar que los conductores tengan acceso a puntos de recarga convenientes. Sin una red adecuada, la funcionalidad de los vehículos eléctricos se vería severamente limitada, lo que podría obstaculizar la adopción masiva de esta tecnología. (Studer, 2024). El Banco Mundial (2023) ha asegurado que las inversiones gubernamentales en infraestructura de carga son las más rentables, superando a cualquier subsidio o incentivo.

Esta infraestructura de recarga tiene implicaciones directas en la transición hacia la electromovilidad, ya que la sostenibilidad de los vehículos eléctricos depende de la limpieza de la electricidad que utilizan. Dos indicadores deben ser objeto de análisis:

1. Capacidad de carga
2. Energía limpia para recarga

Capacidad de carga

La capacidad de carga significa la implementación de infraestructura de recarga adecuada, que incluya estaciones de carga rápida y ultrarrápida, es esencial para facilitar la adopción de vehículos eléctricos. Esto requiere una planificación que considere la capacidad de la red eléctrica y su capacidad para integrar energías renovables intermitentes.

Aunque las cifras de la tabla 1 evidencian un crecimiento en las ventas de vehículos eléctricos e híbridos en México, este crecimiento aún no se ha traducido en una reducción proporcional

de las emisiones debido a la falta de infraestructura de recarga y políticas de apoyo que, por demás, no se corresponde con el ritmo de crecimiento de la producción de VEs.

Actualmente el país cuenta con infraestructura de carga, aunque no se puede confirmar, a partir de la información disponible, si existe una alta correlación entre este indicador y la adopción de los VEs.

En México existen aproximadamente 2,100 estaciones de carga, este número está muy por debajo de lo necesario para una adopción masiva y cómoda de vehículos eléctricos. The logistics World (2024) afirma que se requerirán entre 5,000 a 20,000 estaciones de carga para 2025, considerando el ritmo actual de crecimiento de vehículos eléctricos y los objetivos de políticas ambientales.

Similares resultados se obtuvieron de estimaciones realizadas por los autores de este libro sobre la necesidad de estaciones de carga en México. Tomando como base el indicador de promedio mundial de cargadores por vehículos: 153 cargadores públicos por cada 1,000 VE-HC (Agencia Internacional de Energía, 2023) se estimó que para el año 2023 (para un total de 74,318 VEs vendidos según tabla 1) se requerían aproximadamente 11 371 cargadores. Al concluir el año 2024, si la cifra actual de VEs vendidos (65,232 según tabla 1) se duplica, se requerirán aproximadamente 20 000 cargadores.

Tanto los cargadores lentos como los rápidos desempeñan un papel crucial en la infraestructura de recarga de vehículos eléctricos. Los cargadores lentos satisfacen las necesidades diarias de carga, mientras que los cargadores rápidos brindan flexibilidad y conveniencia para viajes más largos, lo que en conjunto acelera la adopción de la electromovilidad.

En 2023, la proporción de cargadores rápidos y lentos en la infraestructura de recarga pública para vehículos eléctricos ha mostrado un crecimiento significativo a nivel internacional, en México es menor al 5 % (IEA. Global EV Outlook 2024).

El escenario actual de México es totalmente distinto a lo que se requiere. Aunque se ha producido un incremento en estas cifras de las estaciones de carga y esto se puede interpretar como

un reflejo de la efectividad de los incentivos fiscales al promoverse la infraestructura para la electromovilidad, la realidad requiere un análisis más allá de las cifras de incremento del número de estaciones y redes. México enfrenta la falta de una red de carga eléctrica suficientemente desarrollada para respaldar una adopción masiva de VEs (The logistics World, 2024)

Energía limpia para recarga

Sobre el indicador energía limpia para recarga hay que considerar que para que los vehículos eléctricos realmente contribuyan a la reducción de emisiones, la electricidad utilizada en su carga debe provenir de fuentes renovables. Si la infraestructura de recarga se alimenta principalmente de energía generada a partir de combustibles fósiles, se anulan los beneficios ambientales de los vehículos eléctricos.

La interrelación entre el análisis de la matriz energética y la infraestructura de recarga de VEs es crucial para garantizar una transición energética efectiva. Por tal razón se introduce el análisis de la matriz energética que representa la proporción relativa de cada fuente de energía (carbón, gas natural, nuclear, eólica, solar, hidroeléctrica, etc.) en la generación total de electricidad. Esta varía según el país o región, dependiendo de sus recursos energéticos, políticas y objetivos de sostenibilidad.

México tiene un amplio marco legal para las energías renovables como parte de su matriz energética lo que constituye una condición esencial para el tránsito hacia la electromovilidad.

- A. Ley de Transición Energética (LTE, 2015), la Ley de la Industria Eléctrica (LIE, 2014) y la Ley General de Cambio Climático (LGCC, 2012).

La Ley de Transición Energética (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2015) establece como mandato que el 35% de la generación de energía eléctrica en México deberá provenir de energías limpias para el año 2024. Asimismo, delimita como sus instrumentos de planeación a 1) la Estrategia de Transición para promover el uso de tecnologías y combustibles más limpios, 2) el Pro-

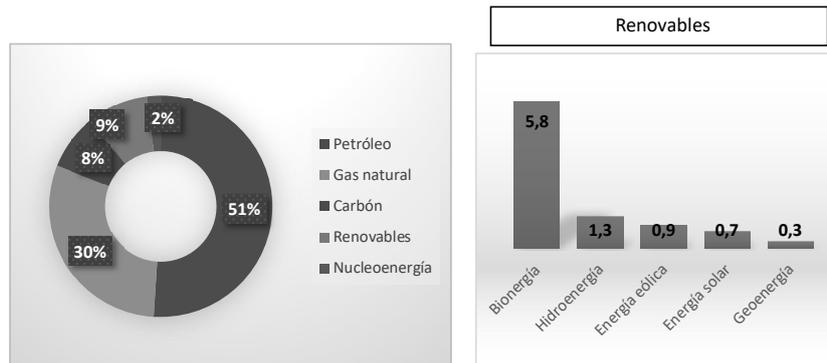
grama Especial de la Transición Energética (PETE) y 3) el Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (PRONASE).

- B. Ley de la Industria Eléctrica (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2014) define a las energías limpias, entre las que se incluye: eólica, solar, oceánica, geotérmica, bioenergética, biogás, e hidrógeno. El caso de esta última, la eficiencia mínima no deberá ser menor a 70% del poder calorífico inferior de los combustibles utilizados.
- C. La Ley General de Cambio Climático (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2012) establece como meta una reducción del 50% de las emisiones de GEI al 2050 respecto al año 2000. Esto condicionado a los mecanismos de financiamiento y transferencia. La Ley delimita como sus instrumentos de planeación a 1) la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC), 2) el Programa Especial de Cambio Climático (PECC) y 3) los Programas de Fondo para el Cambio Climático.
- D. Otras leyes que correspondan a las Entidades Federativas para dar cumplimiento a los compromisos internacionales del país en el marco del Acuerdo de París en relación con las Contribuciones Determinadas a nivel Nacional.

A continuación, se presenta la composición de la matriz energética de México según los datos más recientes obtenidos de varias fuentes.

Hidrocarburos (petróleo, gas natural y carbón): La matriz energética de México está dominada por los combustibles fósiles (89 % en el 2019), 2 % Nucleoenergía y 9 % Renovables. Aunque en los últimos años ha aumentado la eólica y la solar la biomasa tradicional es la principal fuente de energía (Ferrari et al., 2023, p. 24).

A partir de esta fuente citada se presenta el gráfico 3.

Gráfico 3. Oferta bruta de energía nacional de México, 2019

Fuente: Ferrari et al., 2023, p. 24

Energías renovables: La capacidad instalada de energías renovables es del 29.4% de la generación eléctrica total. En el 2022 solo el 28.7% de la electricidad generada provenía de fuentes limpias, lo que indica que el país no alcanzará el objetivo del 35% de reducción para el año 2024. (Instituto Mexicano para la Competitividad [IMCO], 2024)

En el año 2022 el porcentaje de combustible fósiles en el Suministro Total de Energía (STE) fue de un 89 %, igual cifra que la reportada por (Ferrari et al., 2023, p. 24) y un 9 % de fuentes renovables (geotérmica, la hidroeléctrica, la marina, la bioenergía moderna y los residuos renovables, la solar y la eólica) en la generación de electricidad (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. World Energy Outlook Special Report. Latin America Energy Outlook, 2014, p. 25)

Proyecciones de crecimiento: El Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (Prodesen) 2024-2038 prevé un aumento en la capacidad de generación eléctrica, destacando la necesidad de diversificar la matriz energética y aumentar la participación de energías limpias (Centro de Investigaciones de Políticas Públicas, 2024).

A partir de la información disponible se pueden observar varias contradicciones.

En primer lugar, contrariamente a los objetivos del tránsito hacia la electromovilidad en el país, estas fuentes de energía constituyen la base de la matriz energética de la que proviene la electricidad utilizada para cargar los vehículos eléctricos.

En segundo lugar, si bien se reconoce que la dependencia de México de fuentes de energía fósil plantea desafíos para la electrificación del transporte y la reducción de emisiones (Solis, 2023; Ferrari et al., 2023), existe una tendencia en el país a aumentar la producción de crudo debido a que predomina un parque vehicular de 43 millones de vehículos que utilizan combustibles basados en energía fósil (Gobierno de México, Secretaría de energía, 2023). Esta situación es contraproducente con las políticas de disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

En tercer lugar, la transición hacia la electromovilidad se ve obstaculizada por la dependencia de México de los combustibles fósiles para la generación de electricidad. Mientras que el país siga dependiendo en gran medida del gas natural y los derivados del petróleo para cubrir sus necesidades energéticas, será difícil lograr una reducción efectiva de las emisiones de GEI provenientes del sector transporte.

Los siguientes datos reflejan la complejidad de la transición energética de México con implicaciones para la estrategia de tránsito hacia la electromovilidad.

México se ha propuesto metas ambiciosas para aumentar la proporción de energías limpias en su matriz eléctrica. Se espera que al concluir el año 2024, un 35% de la electricidad generada provenga de fuentes de energía limpia. Se prevé un incremento hasta el 43% para el año 2030; sin embargo, la implementación de estas metas enfrenta desafíos debido a la preferencia del gobierno actual por los combustibles fósiles sobre las energías renovables (Ramírez, 2024).

Según datos del Centro Nacional de Control de Energía (CENACE), el pico más alto de contribución de renovables fue en el año 2021, con una contribución del 27.6%, cifra que se redujo a 26.3% en 2022; para 2023, la SENER debió haber publicado este dato a más tardar el 31 de mayo de 2024 (Amezcuca, 2024).

El 2021 coincide con el último año de entrada en operación de las centrales ganadoras de las subastas eléctricas (423 kg CO₂e/

MWh); durante los años 2022 y 2023 este dato aumentó para quedar en 438 kg CO₂e/MWh (Amezcuca, 2024). De acuerdo con esta información la transición hacia una matriz energética más limpia enfrenta obstáculos, como la falta de inversión en energías renovables y la resistencia a cambiar las políticas que favorecen los combustibles fósiles.

Es concluyente el análisis realizado por el Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO) que muestra que la capacidad de generación eléctrica no se ha incrementado al mismo ritmo que la demanda requiere. Se observa también que la generación limpia se encuentra lejos de los propios objetivos de México en materia de transición energética. Según IMCO y de acuerdo con la Secretaría de Energía, en 2023 únicamente 24.3% de la generación eléctrica (incluyendo generación distribuida) fue limpia. Este porcentaje se encuentra lejos del compromiso de México de generar 35% de su electricidad a partir de fuentes limpias, plasmado en el Acuerdo de París y en su legislación nacional.

En este escenario, la conclusión de que la infraestructura de recarga no es suficiente y que no se garantiza la energía limpia para recarga de los VEs es irrefutable. Para que la electromovilidad pueda contribuir de manera significativa a la mitigación del cambio climático en México es necesario que el país diversifique su matriz energética y aumente la participación de las energías renovables. Solo así se podrá aprovechar todo el potencial de los vehículos eléctricos para reducir las emisiones y avanzar hacia una movilidad más sostenible.

3. ANÁLISIS DE COSTOS Y BENEFICIOS

El análisis de costo-beneficio permite evaluar si los incentivos fiscales generan más beneficios que costos. Esto incluye indicadores de beneficios ambientales y económicos.

a) Beneficios ambientales

Estimar los beneficios ambientales derivados de los incentivos fiscales implica medir la reducción de emisiones de GEI y

otros contaminantes como resultado de la adopción de vehículos eléctricos. Los incentivos que fomentan la electromovilidad deben contribuir a metas de sostenibilidad y mejora de la calidad del aire.

Ahora bien, para el análisis de los beneficios ambientales hay que tener en cuenta, como ya se ha planteado, la evaluación de emisiones del ciclo de vida de los VEs (GIZ-Ricardo, 2021), que incluye:

- a) El proceso de fabricación de los diferentes componentes del vehículo (cradle-to-grave),
- b) la generación de la energía (well-to-tank),
- c) la operación (emisiones de escape o tank-to-wheel),
- d) el mantenimiento de los vehículos y los procesos de fin de vida de componentes (por ejemplo, eliminación de residuos, reúso o reciclaje y posible recuperación de energía).

A ello se debe agregar “el factor de emisión eléctrico” de México que difiere de otros países. El estudio comparativo de dichas emisiones entre Europa y México realizado en el marco del proyecto de cooperación bilateral “Programa Transporte Sustentable” (PTS) entre el Gobierno Federal Mexicano y el Gobierno de Alemania, a través de la Cooperación Alemana al Desarrollo Sustentable (GIZ) aportó información al respecto. En dicho estudio se afirma que “el factor de emisión eléctrico” en el año 2020 del Sistema eléctrico de México es de 0.494 tCO₂e / MWh (emisiones de gases como el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O) a su equivalente en dióxido de carbono (CO₂), mientras que en la Unión Europea es de 0.255 tCO₂e / MWh.” (GIZ-Ricardo, 2021, p. 321). Ello significa que las emisiones asociadas a la generación de energía eléctrica (well-to-tank) en México para vehículos son superiores debido a la mayor dependencia de combustibles fósiles, la menor eficiencia de sus plantas eléctricas y las regulaciones ambientales más laxas.

A partir de estos aspectos, se analiza el comportamiento de las emisiones totales y para el sector del transporte en México en el periodo 1990-2023 (Tabla 2)

**Tabla 2. Comportamiento de las emisiones en México
periodo 1990-2023**

Años	Emisiones netas Gg en CO2e	CO₂	Carbono negro (Gg)	Emisiones netas Gg en CO2e (Transporte)
1990	467,413.124	319,999.845	77.557	94,021.523
1991	477,528.929	329,716.353	79.090	100,476.489
1992	479,929.693	333,049.712	80.717	101,162.418
1993	483,660.292	338,075.107	81.467	103,470.290
1994	513,962.001	360,853.348	84.567	108,386.369
1995	503,565.252	347,496.645	85.660	103,131.338
1996	520,544.404	359,553.271	78.738	104,399.432
1997	545,797.282	375,317.236	90.364	108,573.638
1998	569,164.532	393,944.487	101.612	111,835.506
1999	557,365.513	386,967.007	91.850	113,234.078
2000	369,924.815	195,440.705	92.031	117,922.842
2001	371,241.398	197,460.695	85.791	118,090.425
2002	407,964.744	229,882.008	82.257	120,415.512
2003	405,714.974	224,329.118	80.546	128,043.398
2004	420,627.806	238,241.812	77.495	130,043.398
2005	437,015.317	253,144.378	80.434	139,778.358
2006	449,187.779	262,024.906	74.240	148,115.082
2007	491,864.695	289,366.123	80.020	159,177.651
2008	538,490.752	313,910.935	92.705	168,293.799
2009	542,233.701	320,049.422	84.703	161,140.497

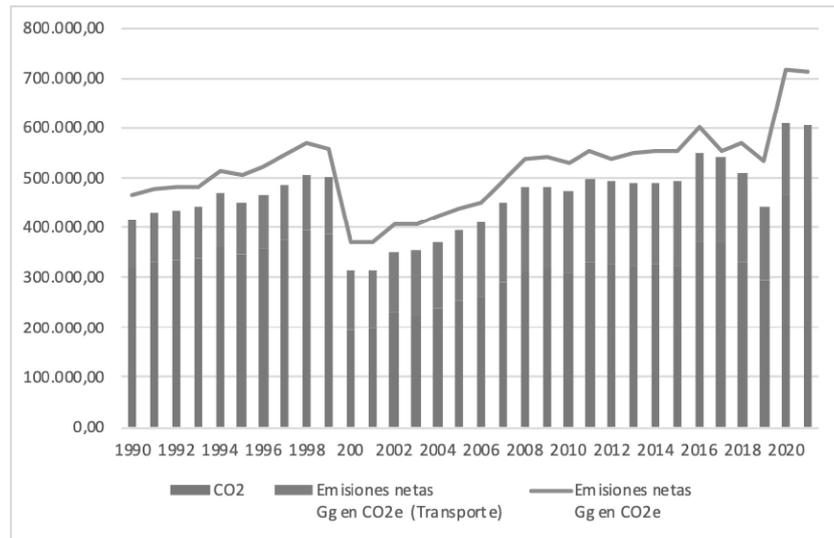
Años	Emisiones netas Gg en CO2e	CO₂	Carbono negro (Gg)	Emisiones netas Gg en CO2e (Transporte)
2010	531,100.527	310,682.774	76.173	164,028.117
2011	554,017.405	331,790.514	78.607	167,143.573
2012	536,631.846	325,051.510	71.996	167,345.130
2013	548,655.579	324,012.193	70.937	164,159.138
2014	553,531.634	326,893.537	67.056	162,679.725
2015	552,405.777	323,593.447	65.553	170,488.148
2016	600,401.409	370,858.748	68.086	177,518.603
2017	552,378.593	370,858.748	71.886	169,223.617
2018	569,873.710	332,067.786	70.733	175,562.255
2019	534,688.600	295,777.936	65.582	147,933.948
2020	716,684.648	464,170.572	72.175	145,666.933
2021	714,047.264	456,265.876	66.372	148,043.978

Nota. El inventario incluye datos desde 1990 hasta 2021, con actualizaciones periódicas que permiten un seguimiento de las tendencias en las emisiones de GEI. Se consideran seis gases principales: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hexafluoruro de azufre (SF₆), perfluorocarbonos (PFC) e hidrofluorocarbonos (HFC). Además, se incluye el carbono negro, un forzante climático de vida corta que tiene efectos adversos para la salud y los ecosistemas. No hay datos del 2023 y 2024 porque las estimaciones de hacen cada 4 años (Sitio oficial: México ante el cambio climático. <https://cambioclimatico.gob.mx/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos/>). Las emisiones netas de gases de efecto invernadero se expresan en gigagramos (Gg) de dióxido de carbono equivalente (CO₂e). Un gigagramo equivale a 1,000 toneladas.

Fuente: elaboración propia sobre la base de las cifras emitidas por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero INEGYCEI, 2019; 2020-2021.

De forma gráfica se presentan los resultados de las emisiones netas de GEI y las emisiones de CO₂ totales y las correspondientes al sector transporte.

Gráfico 4. Comparación entre emisiones netas de GEI y las emisiones de CO₂ totales y las correspondientes al sector transporte.



Fuente: Datos de la tabla 2

Como tendencia, las emisiones netas de CO₂e muestran un aumento general desde 1990 hasta 2021, con un notable incremento en 2020, donde las emisiones alcanzan 716,684.648 Gg. Este aumento puede estar relacionado con la recuperación económica postpandemia y el aumento en la actividad del transporte.

En los primeros años (1990-2000), las emisiones fluctuaron, con un aumento gradual. Sin embargo, a partir de 2000, se observa una disminución drástica en las emisiones netas, cayendo a 369,924.815 Gg en 2000, lo que podría indicar una reducción en la actividad económica o cambios en la política energética.

Desde 2000 hasta 2015, las emisiones se estabilizan y muestran un ligero aumento, alcanzando 552,405.777 Gg en 2015.

Las emisiones alcanzan un pico en 2020, lo que puede ser un reflejo de la reactivación económica después de las restricciones por la pandemia de COVID-19. Este año también muestra un aumento en las emisiones de CO₂, que alcanzan 464,170.572 Gg.

En el caso particular del transporte, las emisiones netas del sector también han mostrado un aumento, alcanzando 177,518.603 Gg en 2016, y fluctuando en los años siguientes. Esto indica que el transporte sigue siendo una de las principales fuentes de emisiones de GEI en el país.

Las emisiones de CO₂ han sido consistentemente más altas que las de carbono negro, lo que es típico dado que el CO₂ es el principal gas de efecto invernadero asociado al uso de combustibles fósiles. Sin embargo, el carbono negro también representa un problema significativo, especialmente en el contexto de la calidad del aire y la salud pública.

En resumen, las emisiones netas de GEI en México han mostrado un aumento general, con picos significativos en años de recuperación económica o cambios en la actividad del transporte. El sector transporte continúa siendo un contribuyente importante a las emisiones de GEI, lo que sugiere la necesidad de políticas más efectivas para promover la electromovilidad y reducir las emisiones en este sector.

Las emisiones totales de GEI en México han mostrado un crecimiento significativo desde 1990, con un aumento del 54% hasta 2015, y una tasa de crecimiento anual que ha variado a lo largo de los años. Para 2017, el CO₂ representaba el 48% de las emisiones totales, seguido por el metano con el 19%. (INECC, 2019b)

Para el año 2022 se dispone de las cifras de las emisiones de CO₂ (487,774), que (INECC, 2019b) representa un aumento del 10.4% en comparación con 2021. Sin una intervención significativa, es posible que las emisiones en 2023 sigan una tendencia similar a menos que se implementen políticas efectivas de mitigación.

Ahora bien, la comparación de las emisiones de GEI antes y después de la implementación de incentivos fiscales a la electromovilidad en México no está claramente documentada a partir de los datos obtenidos y los análisis consultados. En la práctica subsisten algunas limitaciones para realizar un análisis de impacto de los incentivos fiscales a la electromovilidad en la reducción de emisiones en México, entre ellas:

- a) Los datos relativos a las emisiones solo están sistematizados hasta el año 2021 y los incentivos fiscales para promo-

ver la electromovilidad en México se han ido implementando gradualmente a partir del 2019.

- b) El inventario de 1990 hasta 2021 que permiten un seguimiento de las tendencias en las emisiones de GEI en el apartado que corresponde a transporte (1A3) se incluyen las cifras correspondientes a: Aviación civil, Autotransporte, Ferrocarriles, Navegación marítima y fluvial, Otro transporte, pero no se estiman, de forma independiente, los datos relativos a los VEs y por consiguiente tampoco se dispone de información sobre las emisiones de su ciclo de vida. En esas circunstancias es difícil atribuir cambios en emisiones únicamente a los incentivos fiscales.
- c) Los impactos de los incentivos pueden no ser evidentes en el corto plazo. Se requiere un análisis a más largo plazo para evaluar su efectividad en el contexto de México, máxime cuando la venta de VEs en México solo representa aproximadamente un 5 % de las ventas totales según datos del año 2024 ya analizados.

Sin duda, evaluar si los incentivos fiscales para vehículos eléctricos generan más beneficios que costos es una tarea compleja debido al propio ciclo de vida de los VEs. Se requiere considerar múltiples variables a lo largo del ciclo de vida del vehículo y del sistema energético que lo abastece. A pesar de ello, y basado en algunos estudios realizados para el contexto de México se pueden hacer varias deducciones y llegar a algunas conclusiones.

Juárez (2020) afirma que durante el proceso de generación de electricidad para cargar los VEs sí se producen emisiones, a menos que se use una fuente de energía limpia como eólica o solar. El mencionado autor, sobre la base de dos supuestos esenciales, estimó las emisiones de diversos ejemplos de vehículos eléctricos en México debido al uso de fuentes tradicionales de energía.

1. Tomar el valor de 505 gramos de dióxido de carbono por cada kWh, que es la cantidad promedio de emisiones que se generan al producir electricidad en México.
2. Multiplicar por la capacidad de la batería del auto en kWh y dividir entre la autonomía prometida.

El estudio en mención ofrece una comparación entre las emisiones de los vehículos eléctricos y los de gasolina y denota las diferencias. En la tabla 3 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 3. Emisiones de vehículos eléctricos en México

Auto eléctrico	Auto a gasolina	Diferencia
Chevrolet Bolt EV – 75.7 g CO ₂ /km	Chevrolet Trax 1.8 – 211 g CO ₂ /km	135.3 g CO ₂ /km
Audi e-tron – 116.7 g CO ₂ /km	Audi Q8 – 227 g CO ₂ /km	110.4 g CO ₂ /km
BMW i3s – 81.9 g CO ₂ /km	BMW Serie 1 118i – 131.3 g CO ₂ /km	49.4 g CO ₂ /km
Tesla Model 3 – 73.1 g CO ₂ /km	BMW Serie 3 320i – 158 g CO ₂ /km	84.9 g CO ₂ /km

Fuente: Juárez, (2020)

Los datos finalmente revelan que los autos eléctricos, aunque contaminen menos, sí producen emisiones de CO₂/km

Un estudio relevante que aborda el impacto de los vehículos eléctricos (VEs) en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en México es el informe titulado “Análisis del impacto ambiental de la implementación de vehículos eléctricos en México” publicado por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC, 2022). Este estudio proporciona una evaluación detallada de cómo la adopción de vehículos eléctricos puede afectar las emisiones de GEI en el contexto mexicano.

El estudio analiza cómo la composición de la matriz energética de México, que aún incluye una cantidad significativa de energía generada a partir de combustibles fósiles, influye en las emisiones de GEI asociadas con los vehículos eléctricos. Se concluye que, aunque los vehículos eléctricos generan menos emisiones directas de CO₂ en comparación con los vehículos de combustión interna, las emisiones indirectas pueden ser significativas si la electricidad proviene en gran parte de fuentes fósiles.

El informe incluye un análisis del ciclo de vida de los vehículos eléctricos, que abarca la producción, uso y disposición de los vehículos. Destaca que la producción de baterías para VEs puede ser intensiva en carbono debido a la minería de minerales y

el procesamiento de materiales, lo cual puede contrarrestar los beneficios de reducción de emisiones durante la fase de uso del vehículo.

El estudio también aborda los beneficios potenciales de los vehículos eléctricos, como la reducción de emisiones en áreas urbanas y la mejora de la calidad del aire. Sin embargo, señala que el impacto positivo global de los VEs en las emisiones de GEI depende de un avance significativo en la descarbonización de la red eléctrica y la implementación de políticas adecuadas.

En resumen, la medición de la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes como resultado de la adopción de vehículos eléctricos como indicador de impacto de los incentivos fiscales no cuenta con todas las evidencias para derivar conclusiones definitivas, pero si se pueden hacer importantes observaciones:

1. En primer lugar, aunque hay proyecciones y estudios que sugieren que la electromovilidad puede contribuir a la reducción de emisiones, la evidencia empírica directa y cuantificable sobre el impacto real de los vehículos eléctricos en la reducción de GEI en México aún es limitada. Esto se debe en parte a que la adopción de vehículos eléctricos en el país todavía está en etapas iniciales en comparación con otros países.
2. En segundo lugar, muchos estudios se basan en modelos y proyecciones que estiman el potencial de reducción de emisiones si se logra una mayor adopción de vehículos eléctricos y se mejora la infraestructura de recarga. Algunas proyecciones indican que la electrificación del transporte podría resultar en la reducción de millones de toneladas de CO₂ equivalente en el futuro, pero estas son estimaciones y no datos observados directamente.
3. En tercer lugar, la efectividad de la electromovilidad en la reducción de emisiones depende en gran medida de la fuente de energía utilizada para cargar los vehículos eléctricos. Si la electricidad proviene principalmente de combustibles fósiles, la reducción de emisiones puede ser menos significativa. Actualmente, México tiene una matriz

energética que aún depende en gran medida de fuentes no renovables.

4. Por último, en otros países, donde la adopción de vehículos eléctricos es más avanzada y se han realizado estudios más extensos, se ha documentado una reducción en las emisiones de GEI, el inconveniente es que la extrapolación de estos resultados a México debe hacerse con precaución debido a las diferencias en la infraestructura, políticas y matriz energética.

b) Beneficios económicos

Se evalúan los beneficios económicos derivados de la electromovilidad como el ahorro en costos de combustible y mantenimiento a largo plazo. Los incentivos que promueven la inversión en estas áreas pueden tener efectos multiplicadores en la economía. Estos estudios analizan cómo la transición hacia la electromovilidad afecta el empleo y la industria, tanto en términos de creación de nuevos empleos en la fabricación y mantenimiento de vehículos eléctricos, como en la reestructuración de la cadena de suministro y la adaptación de la fuerza laboral.

No se cuenta con amplia información sobre los beneficios económicos derivados de la electromovilidad y en algunos casos son solo estimaciones; no obstante, se pueden ofrecer algunos datos de estudios realizados en el país que apuntan en esta dirección.

1. Según un informe de la Secretaría de Energía (SENER, 2023), el costo de carga de un vehículo eléctrico en México es aproximadamente de \$1.50 MXN por kWh. Comparado con el costo de gasolina que ronda los \$20.00 MXN por litro, el costo de operación de un vehículo eléctrico es significativamente menor. Se estima que el costo por kilómetro para un VEs es de aproximadamente \$0.30 MXN, mientras que para un vehículo de gasolina es de alrededor de \$1.50 MXN.
2. En la Ciudad de México, los vehículos eléctricos están exentos del pago de tenencia vehicular, lo que representa un ahorro de alrededor de \$3,000 MXN anuales para los

propietarios de estos vehículos. El gobierno mexicano ha ofrecido subsidios de hasta \$70,000 MXN para la compra de vehículos eléctricos en programas de incentivos nacionales y locales (Gobierno de la Ciudad de México, 2022).

3. Un estudio realizado por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC, 2022) estima que la reducción de emisiones contaminantes gracias a la adopción de vehículos eléctricos podría reducir los costos de atención médica relacionados con enfermedades respiratorias y cardiovasculares en aproximadamente \$4,000 millones MXN anuales.
4. La expansión de la infraestructura de carga para vehículos eléctricos ha llevado a inversiones significativas en el sector. Según el Centro de Transporte Sostenible (CTS, 2023), la inversión en infraestructura de carga ha superado los \$1,500 millones MXN en los últimos años, creando empleos y oportunidades económicas en el sector energético y tecnológico.
5. Un estudio de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM, 2023) estima que la adopción masiva de vehículos eléctricos podría generar un ahorro económico de hasta \$10,000 millones MXN en costos operativos y mantenimiento a nivel nacional para el año 2030.

Capítulo 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El análisis de los gases de efecto invernadero (GEI) y su impacto en la salud pública y el medio ambiente destaca la urgente necesidad de mitigar las emisiones que están acelerando el cambio climático y degradando la calidad del aire. Los GEI, como el dióxido de carbono (CO₂) y el metano (CH₄), son fundamentales para el equilibrio climático, pero sus niveles elevados contribuyen al calentamiento global y a fenómenos climáticos extremos. La quema de combustibles fósiles, principal fuente de estos gases, también libera contaminantes adicionales que afectan la salud humana, provocando enfermedades respiratorias y cardiovasculares.

El cambio climático ha intensificado fenómenos meteorológicos extremos como olas de calor, inundaciones y sequías, impactando negativamente los ecosistemas, la seguridad alimentaria e hídrica, y la salud pública. La región de América Latina y el Caribe, en particular, enfrenta un aumento significativo en la frecuencia de estos eventos climáticos extremos y un incremento proyectado en la pobreza extrema debido al cambio climático.

En este contexto, la electromovilidad se presenta como una solución prometedora para abordar estos desafíos. La transición hacia vehículos eléctricos podría reducir las emisiones de GEI en el sector del transporte, uno de los mayores contribuyentes a la contaminación atmosférica y al cambio climático; sin embargo, la sostenibilidad de la electromovilidad no es un tema unidimensional. A pesar de sus beneficios, la producción, operación y disposición final de los VEs presentan desafíos ambientales que deben ser considerados.

Aunque México ha demostrado un firme compromiso con la electromovilidad a través de la participación en acuerdos inter-

nacionales y la adopción de estrategias nacionales, la efectividad de estas iniciativas y su impacto real dependen de una implementación rigurosa y de la coordinación entre diversos actores.

Mientras México avanza en su transición hacia la electromovilidad y muestra liderazgo internacional, se enfrenta a desafíos significativos en la ejecución de sus estrategias de reducción de los GEI.

El concepto de “emisiones cero” asociado a los vehículos eléctricos (VEs) no refleja la realidad completa de su impacto ambiental. Aunque los VEs pueden ofrecer ventajas significativas en términos de reducción de emisiones durante su uso, es fundamental considerar todo el ciclo de vida del vehículo para comprender su huella total de gases de efecto invernadero (GEI). Aquí se presentan cifras clave que revelan la complejidad de esta evaluación:

Aunque los VEs tienen el potencial de reducir las emisiones durante su uso, su impacto ambiental global, considerando producción, reciclaje y generación de energía, revela que no están exentos de contribuir a las emisiones de GEI. Por lo tanto, una evaluación completa del ciclo de vida es crucial para entender verdaderamente su contribución a la sostenibilidad.

Para que la electromovilidad avance significativamente en la región, es crucial que los gobiernos implementen incentivos fiscales y simultáneamente establezcan metas claras y un marco regulatorio que apoye tanto la producción como la adopción de vehículos eléctricos. Esto no solo contribuirá a la reducción de emisiones, sino que también fomentará el desarrollo de una industria automotriz más sostenible en para América Latina y para México en particular.

Una evaluación detallada de la efectividad de los incentivos fiscales para la electromovilidad es indispensable para garantizar que las políticas implementadas sean eficaces y que contribuyan de manera significativa a la reducción de las emisiones de GEI en México.

A pesar de la implementación de incentivos fiscales para promover la adopción de vehículos eléctricos (VEs) en México, la efectividad de estas políticas ha sido limitada. La efectividad de estos incentivos en el país está condicionada por la transición ha-

cia una matriz energética más limpia y la adopción a gran escala de vehículos eléctricos. La reducción de emisiones es posible, pero requiere una combinación de políticas eficaces, mejoras en la infraestructura y una mayor incorporación de la electromovilidad en el mercado.

A pesar de los esfuerzos por incentivar la electromovilidad a través de incentivos fiscales, el impacto real en la reducción de emisiones de GEI ha sido limitado hasta ahora. Esto se debe a varios factores, como la dependencia significativa de la red eléctrica mexicana en combustibles fósiles y la adopción relativamente baja de vehículos eléctricos en comparación con otros países. Los estudios y datos actuales sugieren que, aunque los autos eléctricos emiten menos CO₂ en comparación con los vehículos de combustión interna, las emisiones indirectas asociadas con la generación de electricidad aún representan un desafío considerable.

Los estímulos fiscales han contribuido al incremento en la adquisición de vehículos eléctricos, pero no en la magnitud necesaria para provocar un cambio significativo en la movilidad urbana y en la reducción de emisiones. La infraestructura de carga, aunque en desarrollo, aún no es lo suficientemente amplia ni accesible para apoyar de manera efectiva una transición masiva hacia vehículos eléctricos.

La inversión en infraestructura de carga ha avanzado, pero sigue siendo insuficiente para cubrir la demanda creciente de vehículos eléctricos. La mejora de la infraestructura es esencial para facilitar la adopción generalizada de esta tecnología y asegurar que los incentivos fiscales produzcan beneficios tangibles en términos de reducción de emisiones y movilidad sostenible.

Finalmente, se puede concluir que, aunque México ha tomado medidas importantes para fomentar la electromovilidad a través de los incentivos fiscales y otras políticas, es necesario reforzar los instrumentos económicos de control ambiental y desarrollar una infraestructura adecuada para apoyar estos esfuerzos. Solo a través de una combinación de políticas bien diseñadas, incentivos adecuados y una transición hacia una matriz energética más limpia, se logrará reducir efectivamente el uso de combustibles fósiles y las emisiones de gases de efecto invernadero.

Se requerirá, además, de investigaciones más profundas sobre los efectos de los incentivos fiscales en la electromovilidad ya que se considera esencial para garantizar que estos esfuerzos contribuyan efectivamente a la sostenibilidad ambiental, económica y social en México. Es imprescindible proporcionar una base sólida para tomar decisiones informadas, optimizar políticas y maximizar los beneficios de la transición hacia una movilidad más sostenible.

ANEXO

GLOSARIO DE TÉRMINOS TÉCNICOS UTILIZADOS EN EL LIBRO

Electromovilidad: Concepto que se refiere al uso de un sistema de propulsión eléctrica en vehículos como automóviles, bicicletas, motocicletas, autobuses y camiones eléctricos.

Vehículo Eléctrico (VE): Un vehículo que utiliza uno o más motores eléctricos para su propulsión, en lugar de un motor de combustión interna.

Batería: Dispositivo electroquímico que almacena energía eléctrica para ser utilizada por un vehículo eléctrico.

Carga: Proceso de suministrar energía eléctrica a la batería de un vehículo eléctrico para recargarla.

Punto de recarga: Estación o dispositivo diseñado para proporcionar energía eléctrica a un vehículo eléctrico durante la recarga.

Conector de carga: Dispositivo que permite la conexión física entre un vehículo eléctrico y un punto de recarga para la transferencia de energía eléctrica.

Autonomía: Distancia máxima que puede recorrer un vehículo eléctrico con una carga completa de la batería antes de necesitar recargarse.

Tiempo de carga: Tiempo necesario para recargar completamente la batería de un vehículo eléctrico, que puede variar según el tipo de carga y la capacidad de la batería.

Infraestructura de carga: Red de puntos de recarga y estaciones de carga disponibles para los usuarios de vehículos eléctricos.

Vehículo híbrido: Vehículo que combina un motor de combustión interna y un motor eléctrico, utilizando ambos para propulsarse.

Vehículo híbrido enchufable: Tipo de vehículo híbrido que permite la carga de su batería a través de una fuente externa.

Corredor de vehículos eléctricos: Sucesión de estaciones de carga que conecta diferentes puntos de un territorio, facilitando el desplazamiento de vehículos eléctricos.

Controlador de motor: Dispositivo electrónico que regula la potencia entregada al motor eléctrico y controla su velocidad y torque.

Carga rápida: Proceso que permite recargar la batería de un vehículo eléctrico en un tiempo significativamente menor que la carga convencional.

Electrolinera: Estación de carga específicamente diseñada para vehículos eléctricos, que puede ofrecer diferentes niveles de carga.

Sistema de gestión de baterías (BMS): Sistema que supervisa y controla el estado de las baterías, asegurando su funcionamiento eficiente y seguro.

Carga en ruta: Proceso de recargar la batería de un vehículo eléctrico durante un trayecto, utilizando estaciones de carga ubicadas a lo largo de la ruta.

Descarbonización: Proceso de reducción de emisiones de carbono en el sector del transporte, promoviendo el uso de vehículos eléctricos y energías renovables.

Incentivos fiscales: Beneficios económicos otorgados por el gobierno, como exenciones o reducciones de impuestos, para fomentar la adopción de tecnologías limpias, incluyendo vehículos eléctricos.

Subsidios: Ayudas económicas directas que el gobierno proporciona a los consumidores o empresas para reducir el costo de compra o uso de vehículos eléctricos.

Exenciones tributarias: Eliminación total o parcial de impuestos aplicables a la compra, uso o propiedad de vehículos eléctricos, con el fin de incentivar su adopción.

Créditos fiscales: Deduciones en la cantidad de impuestos que un contribuyente debe pagar, que pueden ser aplicables a la compra de vehículos eléctricos.

Normativa de electromovilidad: Conjunto de leyes y regulaciones que establecen los marcos legales para promover el uso de vehículos eléctricos y su infraestructura de carga.

Placas verdes: Identificación especial otorgada a vehículos eléctricos que permite acceder a beneficios específicos, como estacionamiento preferencial o reducción de tarifas.

Estaciones de carga: Infraestructura necesaria para la recarga de vehículos eléctricos, que puede estar sujeta a incentivos fiscales para su desarrollo y operación.

Movilidad sostenible: Estrategia que busca promover el uso de medios de transporte que minimicen el impacto ambiental, incluyendo la promoción de vehículos eléctricos a través de incentivos fiscales.

Políticas públicas: Estrategias y acciones implementadas por el gobierno para regular y fomentar la adopción de tecnologías limpias, incluyendo incentivos fiscales para la electromovilidad.

Beneficios ambientales: Ventajas que se derivan de la reducción de emisiones y la mejora de la calidad del aire, promovidas por la adopción de vehículos eléctricos mediante incentivos fiscales.

BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Europea de Medio Ambiente [AEMA] (AEMA, 2023). Los impuestos e incentivos adecuados sí afectan las compras de automóviles nuevos. <https://www.eea.europa.eu/publications/appropriate-taxes-and-incentives-do>
- Agencia Internacional de Energía. (2023). *Global EV Outlook 2023: Promedio mundial de cargadores públicos por cada 1,000 VE-HC*. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023>
- Altamirano, J. (2024). Movily portal España. <https://mobilityportal.es/incentivos-beneficios-electromovilidad/>
- Amezcuca, V. (2024). El sector eléctrico mexicano aumenta sus emisiones de efecto invernadero. <https://energiaadebate.com/el-sector-electrico-mexicano-aumenta-sus-emisiones-de-efecto-invernadero/>
- Amin Mahmoudzadeh Andwari (2015). "A review of Battery Electric Vehicle technology and readiness levels"
- Anable, J., & Goodwin, P. (2019). The role of transport policy in reducing emissions: Lessons from the UK. *Journal of Transport Geography*, 74, 145-156. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.11.012>
- Arga Jafino, B. et al. (2020), Revised Estimates of the Impact of Climate Change on Extreme Poverty by 2030, <https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/ad7eeab7-d3d8-567d-b804-59d620c3ab37/content>
- Asamblea Nacional de Ecuador. (2019). *Ley Orgánica de Eficiencia Energética*. Registro Oficial Suplemento 251.
- Autofact. (2024). *Pago de la tenencia 2024 en la CDMX – Informe Autofact*. <https://www.autofact.com.mx/blog/mi-carro/tenencia/tenencia-cdmx>
- Badillo, D. (2022). ¿Cómo llega México a la COP27? *El Economista*
- Banobras. (2022). FONADIN: Financiamiento a infraestructura y vehículos eléctricos. Recuperado de <https://www.banobras.gob.mx/fonadin>
- BBVA. (2023). Bono Verde: Incentivos para la compra de vehículos eléctricos. Recuperado de <https://www.bbva.mx/bono-verde>

- Bergman, N., Schwanen, T., & Sovacool, B. K. (2017). *A framework for understanding and assessing the sustainability of transport modes*. *Transport Reviews*, 37(4), 429-450. <https://doi.org/10.1080/01441647.2016.1202121>
- Bravo, et. al. (2022) Transición a la electromovilidad mediante un modelo *input-output*: metodología y evaluación de escenarios. Papeles de Energía, N.º 19 (diciembre 2022). <https://www.funcas.es/articulos/transicion-a-la-electromovilidad-mediante-un-modelo-input-output-metodologia-y-evaluacion-de-escenarios/>
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (1921c) *Ley de impuesto al valor agregado*. Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 29 de diciembre de 1978. TEXTO VIGENTE. Última reforma publicada DOF 12-11-2021
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2012). *Ley general de cambio climático*. Diario Oficial de la Federación. http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC_130718.pdf
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2014). *Ley de la industria eléctrica*. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LIElec.pdf>
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2015). *Ley de transición energética*. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LTE.pdf>
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (26 de diciembre de 2018). Leyes fiscales. Obtenido de Ley Federal del Impuesto Sobre Automóviles Nuevos: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/123_261218.pdf
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2020). *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*. Diario Oficial de la Federación. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5596607&fecha=05/02/1917
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión (2021a). *Código Fiscal de la Federación (CFF)*. Diario Oficial de la Federación. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/cff.htm>
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión (2021b). *Ley del Impuesto sobre la Renta*. Diario Oficial de la Federación. <https://mexico.justia.com/federales/leyes/ley-del-impuesto-sobre-la-renta/>
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2023). *Ley de Caminos, Puentes y Autotransporte Federal*. Diario Oficial de la Federación. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LCPAF.pdf>
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2024). *Decreto por el que se modifica la Tarifa de la Ley de los Impuestos Generales*

de Importación y de Exportación. Diario Oficial de la Federación.
https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5596607&fecha=22/04/2024

Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (26 de diciembre de 2018). *Leyes fiscales. Obtenido de Ley Federal del Impuesto Sobre Automóviles Nuevos*: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/123_261218.pdf

Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Ley de impuesto al valor agregado. Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 29 de diciembre de 1978 TEXTO VIGENTE Última reforma publicada DOF 12-11-2021

Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Ley del Impuesto Especial Sobre Producción y Servicios, Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 30 de diciembre de 1980 TEXTO VIGENTE Última reforma publicada DOF 12-11-2021 Cuotas actualizadas por Acuerdo DOF 22-12-2023

Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de enero de 1988. Texto vigente. Última reforma publicada DOF 01-04-2024

Centro de Información Oficial. (2020, septiembre). Ley N° 16.906 – Promoción de Inversiones. IMPO. <https://www.impo.com.uy/bases/leyes/16906-1998>

Centro de Investigación Económica y Presupuestaria (CIEP) (2022). Instrumento de Promoción para la Transición Energética (IPTE) Medidas fiscales federales y locales para la Ciudad de México

Centro de Transporte Sostenible (CTS). (2023). *Informe sobre la infraestructura de carga para vehículos eléctricos en México*. Recuperado de <https://www.cts.org.mx/informe-infraestructura-carga>

CEPAL – 2018 – Informe nacional de monitoreo de la eficiencia energética de México, 2018. Ciudad de México. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/a9f6dc15-7e04-4d75-b676-b131e99b3c44/content>

CFE. (2017). Comisión Federal de Electricidad. Obtenido de Promoción de la electromovilidad sustentable.

CONEVAL (2022). Evaluación de incentivos fiscales en electromovilidad y desarrollo social. Recuperado de <https://www.coneval.org.mx>

- Congreso de la República de Colombia. (2019). *Ley 1964 de 2019* (Por la cual se dictan normas tendientes a fomentar la movilidad eléctrica en Colombia). Diario Oficial No. 51.688.
- Congreso de la República de Guatemala. (2020). *Ley de Incentivos para la Movilidad Eléctrica* (Decreto No. 40-2020). Diario de Centro América.
- CONUEE. (26 de agosto de 2015). Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. Obtenido de Movilidad y transporte: <https://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/biodiesel-movilidad-y-transporte?state=published>
- D. Messina, R. Contreras Lisperguer y R. Salgado Pavez, “El rol de las energías renovables en la electrificación del transporte público y privado de las ciudades de América Latina y el Caribe: impactos, desafíos y oportunidades ambientales”,
- de los Santos L. (2024). Mobyly Portal Latinoamérica. <https://mobilyportal.lat/reporte-vehiculos-electricos-mexico/>
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2019). Decreto por el que se reforman, adicionan y derogan diversas disposiciones del Código Fiscal de la Federación, la Ley del Impuesto sobre la Renta, la Ley del Impuesto al Valor Agregado, la Ley de Caminos, Puentes y Autotransporte Federal y la Ley General de Cambio Climático. <https://www.dof.gob.mx>
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2019). Decreto por el que se reforman, adicionan y derogan diversas disposiciones del Código Fiscal de la Federación, la Ley del Impuesto sobre la Renta, la Ley del Impuesto al Valor Agregado, la Ley de Caminos, Puentes y Autotransporte Federal y la Ley General de Cambio Climático. <https://www.dof.gob.mx>
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2020). Decreto por el que se modifica la Tarifa de la Ley de los Impuestos Generales de Importación y de Exportación. Publicado el 22 de junio de 2020. Recuperado de <https://www.dof.gob.mx/>
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2023). Decreto por el que se modifican las disposiciones fiscales para fomentar inversiones en sectores clave, incluida la electromovilidad. Publicado el 15 de marzo de 2023. Recuperado de <https://www.dof.gob.mx/>
- Diotima, Revista Científica de Estudios Transdisciplinaria Vol. 9 no. 25 enero-Abril (2024).
- Documentos de Proyectos (LC/TS.2022/125), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2022.
- Dumett, M. (2017). El lado oscuro de los automóviles eléctricos: Prácticas de explotación laboral. Amnistía internacional. <https://www.amnes->

- ty.org/es/latest/news/2017/09/the-dark-side-of-electric-cars-exploitative-labor-practices/
- F. Carvajal, «¿Estamos disminuyendo las emisiones de energía en América Latina y el Caribe?», *Energía para el Futuro*. Accedido: 2 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://blogs.iadb.org/energia/es/disminucion-emisiones-de-energia-enamerica-latina-y-el-caribe/>
- Fonti, A. (2024). *Mobility Portal Latinoamérica*. <https://mobilityportal.lat/incentivos-vehiculo-electrico-latam/>
- Forbes, <https://www.forbes.com.mx/mexico-debe-generar-energia-limpia-para-autos-electricos-o-ahuyentara-inversiones-experto/>.
- Gavin Harper, *Recycling lithium-ion batteries from electric*, 2019
- GIZ-Ricardo (2021). *Oportunidades y recomendaciones de política pública para promover la electromovilidad en el transporte de carga y última milla en México*. México.
- Gobierno de Chile. (2022, noviembre). *Ley de Almacenamiento de Energía Eléctrica y Electromovilidad*. Recuperado de <https://www.gob.cl/noticias/nueva-noticia-verde-para-el-medio-ambiente-promulgan-ley-de-almacenamiento-y-electromovilidad/>
- Gobierno de Costa Rica. (2018). *Ley 9518. Ley de Incentivos y Promoción para el Transporte Eléctrico*. Recuperado de https://www.imprenta-nacional.go.cr/pub/2018/02/20/ALCA108_20_02_2018.pdf
- Gobierno de la Ciudad de México. (2022). *Programa de incentivos para la compra de vehículos eléctricos*. Recuperado de <https://www.cdmx.gob.mx/vehiculos-electricos>
- Gobierno de la República Argentina. (2021, 16 de septiembre). *Ley 27.663. Ley de Promoción de la Industria Automotriz*. Boletín Oficial de la República Argentina. Recuperado de <https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/248905/20210916>
- Gobierno de la República. (2013). *Programa Nacional de Desarrollo*. Obtenido de <http://pnd.gob.mx/>
- Gobierno de México, Secretaría de energía (2023). *El Gobierno de México trabaja en impulsar el desarrollo del sector energético*. <https://www.gob.mx/sener/articulos/el-gobierno-de-mexico-trabaja-en-impulsar-el-desarrollo-del-sector-energetico-222413>
- Gobierno de México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, & Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2022). *Contribución Determinada a Nivel Nacional: Actualización 2022*. https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-11/Mexico_NDC_UNFCCC_update2022_FINAL.pdf

- Gobierno del Estado de Jalisco. (2022). Programa de Incentivos. Secretaría de Desarrollo Económico. Recuperado de <https://www.jalisco.gob.mx/programa-incentivos>.
- Hans Werner Sinn (2019) ¿Son realmente los vehículos eléctricos tan respetuosos con el clima? <https://www.theguardian.com/environment/2019/nov/25/are-electric-vehicles-really-so-climate-friendly>
<https://www.teseopress.com/terminosclaveparalosestudiosdemovilidaddenamericalatina/chapter/electromovilidad/>
- Henderson, J. (2020). *Electrification of transport: A comparative analysis*. *Energy Policy*, 139, 111-123. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111123>
- IEA (2021). Global EV Outlook 2021. <https://news.asociacion3e.org/media/images/ckfinder/files/WorldEnergyOutlook2021.pdf>
- IEA. (2023). *Global EV Outlook 2023*. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023>
- IEA. (2024). *Perspectiva mundial de vehículos eléctricos para 2024*. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024>
- IEA. 2020. *Global EV outlook 2020: entering the decade of electric drive?* IEA, París. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>
- IEA. Global EV Outlook 2024 Moving towards increased affordability. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/a9e3544b-0b12-4e15-b407-65f5c8ce1b5f/GlobalEVOutlook2024.pdf>
- INECC (2019b). Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (GYCEI). <https://cambioclimatico.gob.mx/estadosymunicipios/Emisiones.html>
- INECC. (2016). Diálogos Público-Privados, Compromiso Nacionalmente Determinados Obtenido de: http://dialogos.cneds.inecc.gob.mx/images/documentos/Dialogo5/Miguel_Transporte.pdf
- INECC. (26 de marzo de 2018). Inventario nacional de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero. Recuperado el agosto de 2018, de Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/312045/INEGYCEI6CN_26_marzo_2018.pdf
- INECC. Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero INEGYCEI, 2019a
- INECC. Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero INEGYCEI, 2020-2021
- INEGI, Parque vehicular. (11 de octubre de 2019). Instituto Nacional de Estadística
- INEGI. (2019). Parque vehicular. Recuperado el septiembre de 2018, de Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Estadísticas de Vehí-

- culos de Motor Registrados.: <https://www.inegi.org.mx/temas/vehiculos/> INEGI. (enero de 2020).
- Iniciativa Climática de México, NDC desde la sociedad civil. Una propuesta desde la sociedad civil para aumentar la ambición climática mediante un enfoque de justicia climática, 2023, <https://iniciativaclimatica.org/ndc/>
- Instituto de Recursos Mundiales México (IRMM). Boletín de prensa. <https://es.wri.org/noticias/senala-wri-la-incertidumbre-como-freno-en-transicion-electromovilidad-en-mexico>
- Instituto Estatal de Energía y Cambio Climático (2022). Inventario Estatal de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 2020. https://ieecc.edomex.gob.mx/sites/ieecc.edomex.gob.mx/files/files/Publicaciones%20Hist%C3%B3ricas/1_Inventario_Emisiones/IE%20GEI%202020.pdf
- Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO, 2024). Centro de Investigación en Política Pública. PRODESEN 2023-2037: El sistema eléctrico ante el crecimiento de la demanda. <https://imco.org.mx/prodesen-2024-2038-el-sistema-electrico-mexicano/>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2018). Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGYCEI)
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2022). *Análisis del impacto ambiental de la implementación de vehículos eléctricos en México*. Recuperado de <https://www.gob.mx/inecc>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2022). *Evaluación del impacto en salud pública de la movilidad eléctrica en México*. Recuperado de <https://www.gob.mx/inecc/documentos/evaluacion-del-impacto-en-salud-publica-de-la-movilidad-electrica-en-mexico>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). Informe Nacional de Calidad del Aire 2016, México. Coordinación General de Contaminación y Salud Ambiental, Dirección de Investigación sobre la Calidad del Aire y los Contaminantes Climáticos. Ciudad de México. Diciembre 2017.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Obtenido de Registro Administrativo de la Industria Automotriz de Vehículos Ligeros. Venta de vehículos híbridos y eléctricos: https://www.inegi.org.mx/datos-primarios/iavl/default.html#Datos_abiertos
- International Energy Agency. World Energy Outlook Special Report. Latin America Energy Outlook (Prospectivas Energéticas de América

- Latina). file:///C:/Users/Lenovo/Documents/MarthaEsteban/martha%20JULIO-AGOSTO2024/nuevo/LatinAmericaEnergyOu
- J. Carrillo, J. S. de los Santos Gómez y J. Briones, "Hacia una electromovilidad pública en México", Documentos de Proyectos (LC/TS.2020/115), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2020. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/a9f6dc15-7e04-4d75-b676-b131e99b3c44/content>
- Jiménez, G. (2022). Avances y Proyectos de Electromovilidad en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Green Climate Fund, Movilidad Eléctrica Latinoamérica y el caribe y ONU. Programa para el medio ambiente.
- La Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) y Secretaría de Energía (SENER). Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios. <https://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/estrategia-de-transicion-para-promover-el-uso-de-tecnologias-y-combustibles-mas-limpios-2016>
- Latam Mobility (2022). Brasil podría alcanzar 100.000 coches eléctricos en circulación en 2022. <https://latamobility.com/en/brazil-could-reach-100000-electric-cars-on-the-road-by-2022/>
- M. Lavalleja y F. Scalese, "Impacto fiscal de la política de estímulos a la sustitución del parque automotor por vehículos eléctricos", serie Estudios y Perspectivas-
- Michelena, Patricia Iannuzzi, Magdalena Barafani Banco Interamericano de Desarrollo (2023). Hacia una integración sostenible: el potencial de la electromovilidad en América Latina y el Caribe / Gabriel. – (Nota técnica del BID; 2805).
- Ministerio de Energía. (2021, 13 de febrero). *Ley 21.305 de Eficiencia Energética*. Recuperado de <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1159341>
- Nacional Financiera (NAFIN), & KfW. (2021). Programa NAFIN – KfW: Fondo de Sustentabilidad. Recuperado de <https://www.nafin.com/fondo-sustentabilidad>
- Neuron Business media (2024). Electromovilidad en México, retos y oportunidades. <https://neuronbusinessmedia.mx/electromovilidad-en-mexico-retos-y-oportunidades/> (pagina wed)
- Nichols, D. (2024). Impacto ambiental de las baterías para vehículos eléctricos. <https://www.greencars.com/es-us/greencars-101/impacto-ambiental-de-las-baterias-para-vehiculos-electricos>

- OCDE/ITF 2023. ITF Transport Outlook 2023 © OCDE/ITF 2023, <https://doi.org/10.1787/b6cc9ad5-en>.
- OECD (2023), Hacia la Resiliencia y Neutralidad Climática en América Latina y el Caribe: Prioridades políticas clave, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/a73c1364-es>.
- Oficina de la CEPAL en Montevideo, N° 38 (LC/TS.2019/24-LC/MVD/TS.2019/1), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2019.
- Organización de Naciones Unidas (2015). Acuerdo de París
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2021). Evaluación de políticas de incentivos fiscales para electromovilidad. Recuperado de <https://www.oecd.org>
- Paris Agreement – Status of Ratification, disponible en: <https://unfccc.int/process/the-paris-agreement/status-of-ratification> (fecha de consulta: 25 de abril de 2021).
- Parliament by the Secretary of State for Transport (2021). “Green Paper on a New Road Vehicle CO₂ Emissions Regulatory Framework for the United Kingdom.” [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1007466/green-paper-on-a-new-road-vehicle-CO₂-emissions-regulatory-framework-for-the-United-Kingdom-web-version.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1007466/green-paper-on-a-new-road-vehicle-CO2-emissions-regulatory-framework-for-the-United-Kingdom-web-version.pdf)
- Pérez, et. al. (2024). Avances en la Implementación de la Electromovilidad en México.
- Pineda, L. y Yihao Xie (2021) L., Consejo Internacional de Transporte Limpio (ICCT) *Programas de eco-conducción de camiones: Situación actual en América Latina y mejores prácticas internacionales*. <https://www.girolimpio.cl/2021/05/14/consejo-internacional-de-transporte-limpio-destaca-a-giro-limpio-en-reporte-que-expone-a-los-programas-de-eco-conduccion-de-camiones-en-latinoamerica/>
- Qinyu Qiao, et. al. (2017). Estudio comparativo sobre las emisiones de CO₂ durante el ciclo de vida de la producción de vehículos eléctricos y convencionales en China. www.sciencedirect.com. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.827>
- Ramírez, D. (2024). Movilidad eléctrica en México: Información crucial para el 2024. <https://blog.enerlink.com/movilidad-electrica-en-mexico-informacion-crucial-para-el-2024>
- Ricardo. (2021). *Lifecycle emissions of electric vehicles*. Zemo Partnership. Recuperado de <https://www.zemo.org.uk/assets/workingdocuments/MC-P-11-15a%20Lifecycle%20emissions%20report.pdf>

- Schmerler, Daniel; Velarde, José Carlos; Rodríguez, Abel y Solís, Ben (Editores) (2019). *Electromovilidad. Conceptos, políticas y lecciones aprendidas para el Perú*. Osinergmin. Lima-Perú
- Secretaría de Energía – 2019 – PRODESEN 2019-2033 – Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional. México.
- Secretaría de Energía (SENER). (2021). *Estudio sobre el potencial de los vehículos eléctricos en México*. Recuperado de <https://www.gob.mx/sener/documentos/estudio-sobre-el-potencial-de-los-vehiculos-electricos-en-mexico>
- Secretaría de Energía. (2022). Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (FOTEASE). Recuperado de <https://www.gob.mx/sener>
- Secretaría de Gobernación. Diario Oficial de la Federación. DOF: 11/10/2023. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5704676&fecha=11/10/2023
- Secretaría de Movilidad de la Ciudad de México. (2018). *Estrategia de electromovilidad de la Ciudad de México 2018-2030*. [https://cff-prod.s3.amazonaws.com/storage/files/mI2mWzTOCnwfzjm5PP4NuPrEtEzHTM1SQgYmjDu.pdf\[2\]](https://cff-prod.s3.amazonaws.com/storage/files/mI2mWzTOCnwfzjm5PP4NuPrEtEzHTM1SQgYmjDu.pdf[2])
- Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México. (n.d.). Programa Hoy No Circula. <https://sedema.cdmx.gob.mx/programas/programa/hoy-no-circula>
- SEMARNAT. (2018). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, *Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica Visión 2030*. Ciudad de México: Gobierno de la República
- Sitio oficial: México ante el cambio climático. <https://cambioclimatico.gob.mx/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos/>
- Solis, T. (2023). *Electromovilidad en México: Desafíos y Oportunidades en un Contexto Global* 30/Oct/2023. <https://www.uag.mx/es/mediahub/electromovilidad-en-mexico-desafios-y-oportunidades-en-un-contexto-global/2023-10>
- Statista Research Department, 13 may 2024. México: volumen de ventas de vehículos eléctricos e híbridos 2016-2023. <https://es.statista.com/estadisticas/1114981/volumen-ventas-vehiculos-electricos-hibridos-mexico/>
- The logistics World, (2024). *Infraestructura de carga, el gran reto para la adopción de vehículos eléctricos en México*. <https://thelogisticsworld.com/tecnologia/infraestructura-de-carga-el-gran-reto-para-la-adopcion-de-vehiculos-electricos-en-mexico/>

- Tridens Technology. (2023). *Estadísticas de ventas de coches eléctricos*. <https://tridenstechnology.com/es/estadisticas-de-ventas-de-coches-electricos/>
- Ulriksen C. Nuevos términos para los estudios de movilidad en América latina.
- Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). (2023). *Estudio sobre el impacto económico de la adopción de vehículos eléctricos en México*. Recuperado de <https://www.unam.mx/estudio-impacto-economico-ve>
- US EPA, «Emisiones de dióxido de carbono». Accedido: 5 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-elmedioambiente/emisiones-de-dioxido-de-carbono>
- y Geografía. https://www.inegi.org.mx/temas/vehiculos/default.html#Informacion_general
- Zagorodny, P. (2023). “Gestión integral de las baterías fuera de uso de vehículos eléctricos en el marco de una estrategia de economía circular”, serie Medio Ambiente y Desarrollo, N° 173 (LC/TS.2023/36), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2023. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/32b22cd4-cea7-4bda-bbdo-6f29309docb1/content>

Esta primera edición de INCENTIVOS FISCALES AMBIENTALES
A LA ELECTROMOVILIDAD ALCANCE Y EVALUACIÓN
EN MÉXICO, se imprimió en el mes de marzo de 2025.
TIRANT LO BLANCH MÉXICO, S. DE R.L. DE C.V.
El tiraje fue de 400 ejemplares



Inteligencia jurídica
en expansión

Trabajamos para
mejorar el día a día
del **operador jurídico**

Adéntrese en el universo
de **soluciones jurídicas**

 +52 1 55 65502317

 atencion.tolmex@tirantonline.com.mx

prime.tirant.com/mx/

El libro aborda una temática de alta pertinencia, importancia y actualidad al vincular su contenido y análisis con uno de los grandes retos actuales a nivel mundial, donde se involucran en mayor o menor medida todas las naciones en correspondencia directa con su nivel de responsabilidad política, social y económica, y que lo constituye la protección, cuidado y preservación del medio ambiente.

Focaliza en el análisis reducir los impactos por la emisión de gases efecto invernadero, a partir de promover la automoción eléctrica y en particular los estímulos fiscales otorgados a la producción, adquisición y uso de autos eléctricos. En concreto el libro tiene como objetivo evaluar si se ha cumplido con los objetivos planteados, y en particular promover o generar el impacto positivo esperado, como política fiscal ambiental aplicada.

La línea de investigación de la que forma parte el proyecto pretende como objetivo macro, promover instrumentos económicos de control ambiental que reduzcan el uso de combustibles fósiles y las emisiones de gases de efecto invernadero.



tirant
lo blanch

